



Simulation 3D thermique de la station 1 du bras dimuon du spectrometre ALICE

F. Launay

► To cite this version:

F. Launay. Simulation 3D thermique de la station 1 du bras dimuon du spectrometre ALICE. 2003, pp.29. in2p3-00012746

HAL Id: in2p3-00012746

<https://hal.in2p3.fr/in2p3-00012746>

Submitted on 24 Apr 2003

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



IPNO 03-02

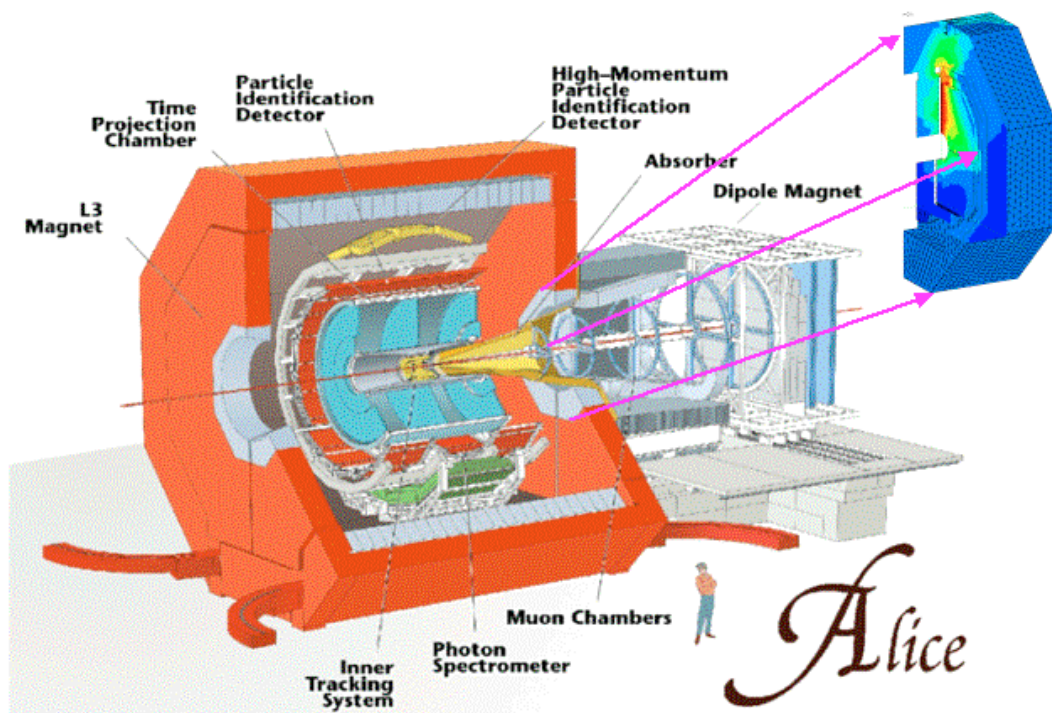
**SIMULATION 3D THERMIQUE DE LA
STATION 1 DU BRAS DIMUON DU
SPECTROMETRE ALICE**

F. Launay

ETUDE DU REFROIDISSEMENT PAR AIR DES CHAMBRES DE LA STATION 1 .

François Launay *

24 Janvier 2003



Sommaire

1. Introduction	4
2. Modélisation.....	5
3. Calcul.....	8
3.1 Conditions nominales.....	8
3.2 Cas n°1.....	8
3.3 Cas n°2.....	10
3.4 Cas n°2 Bis.....	12
3.5 Cas n°3.....	14
3.6 Cas n°4.....	15
3.7 Cas n°5.....	17
3.8 Cas n°6.....	20
4. Commentaires.....	24
4.1 Température de l'air dans l'enceinte.....	24
4.2 Limite de l'hypothèse de symétrie.....	26
4.3 De la vitesse de l'air sur les plans d'électronique... ..	26
5. Conclusions.....	28
6. Note.....	28
7. Références.....	29
8. Remerciements.....	29

1. Introduction.

Dans le cadre de l'étude du détecteur ALICE, l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay a la charge de la conception des chambres à fils de détection de traces (Tracking Chambers "TC") du "bras dimuon" [1]. Une chambre de détection est composée de quatre quadrants, l'association de deux chambres est appelé station ("ST").

L'électronique "en tête" associée à ces chambres à fils, est située sur des plans de part et d'autre des chambres (Fig. 1) . Environ 60000 voies par chambre sont analysées par l'électronique.

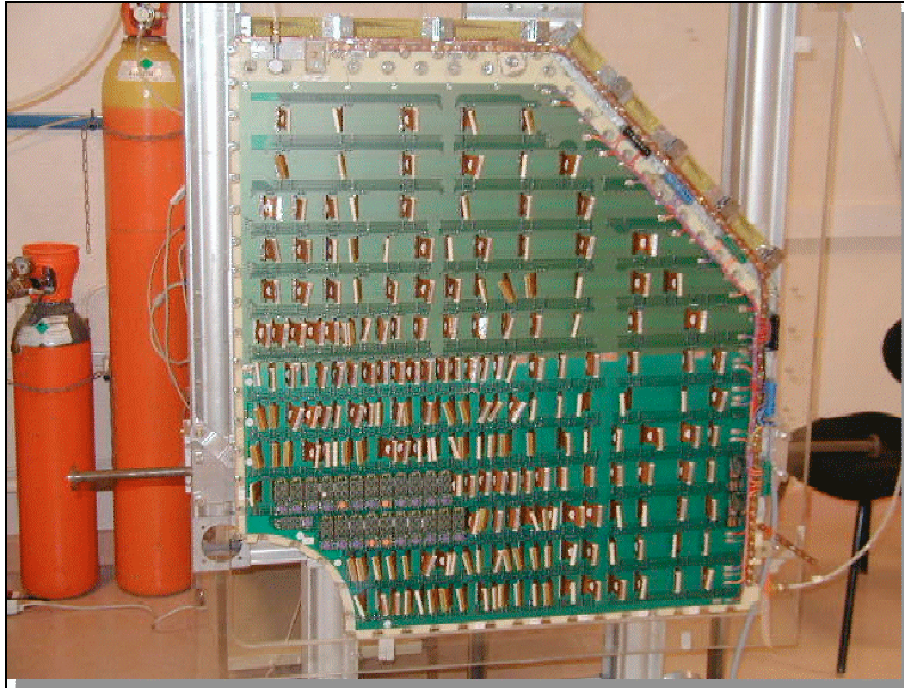


Fig. 1: Quart de chambre partiellement équipé d'électronique.

Les station 1 et 2 sont logées dans une enceinte métallique de forme octogonale (Fig. 2). La puissance dissipée par l'électronique doit être extraite de cette enceinte. L'électronique de la station 1 génère une densité de puissance moyenne estimée à 330W/m^2 [2].

Le but de cette étude est de simuler le comportement d'un refroidissement par air de la station 1 et d'évaluer la température moyenne de l'air autour des chambres 1 et 2.

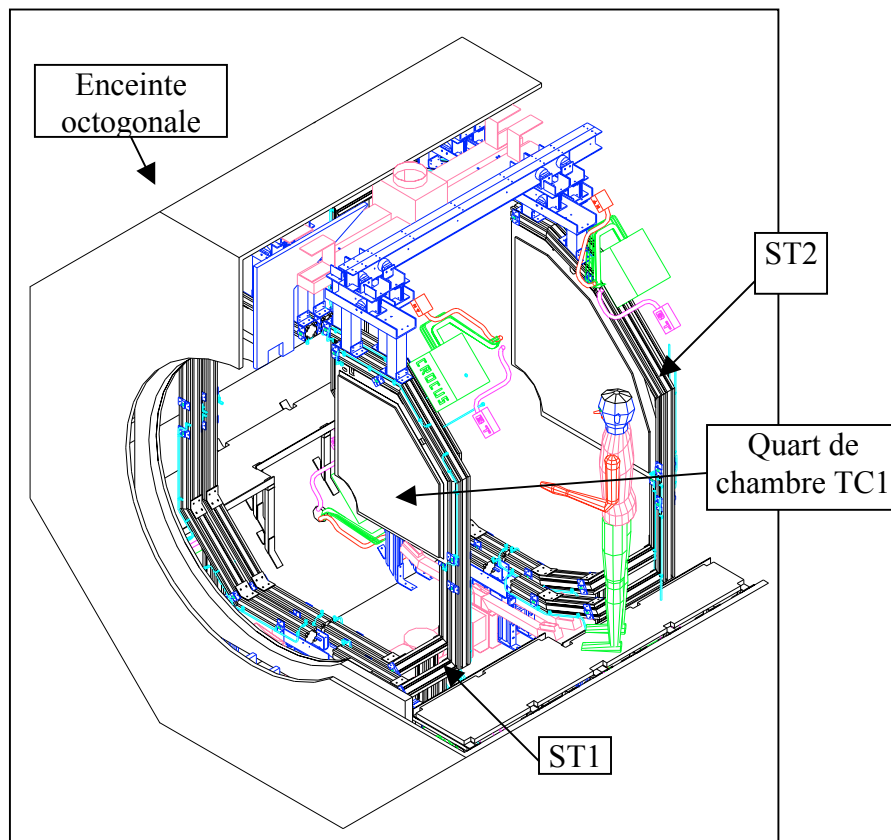


Fig. 2: Vue des stations 1 et 2 dans l'enceinte.

2. Modélisation.

Dans cette étude nous modélisons la moitié verticale de la station 1 dans son enceinte pour limiter de taille du modèle et en supposant un comportement symétrique par rapport à ce plan vertical (Fig. 3).

La géométrie 3D du modèle représente l'enceinte octogonale, les chambres TC1 et TC2, les cadres supports de chambres, les bouches d'entrée et de sortie d'air (Fig. 4), ainsi que les plans des circuits imprimés supportant l'électronique (Fig. 5).

Les composants électronique ne sont pas modélisés.

La position initiale des chambres TC1 et TC2 montre un rétrécissement pour l'écoulement d'air, au niveau du recouvrement horizontal entre le quart supérieur de TC1 et le quart inférieur de TC2 (Fig. 6).

Le modèle ainsi maillé comporte environ 150000 éléments tétraédriques. Les simulations sont réalisées avec le code de calcul I-DEAS [3].

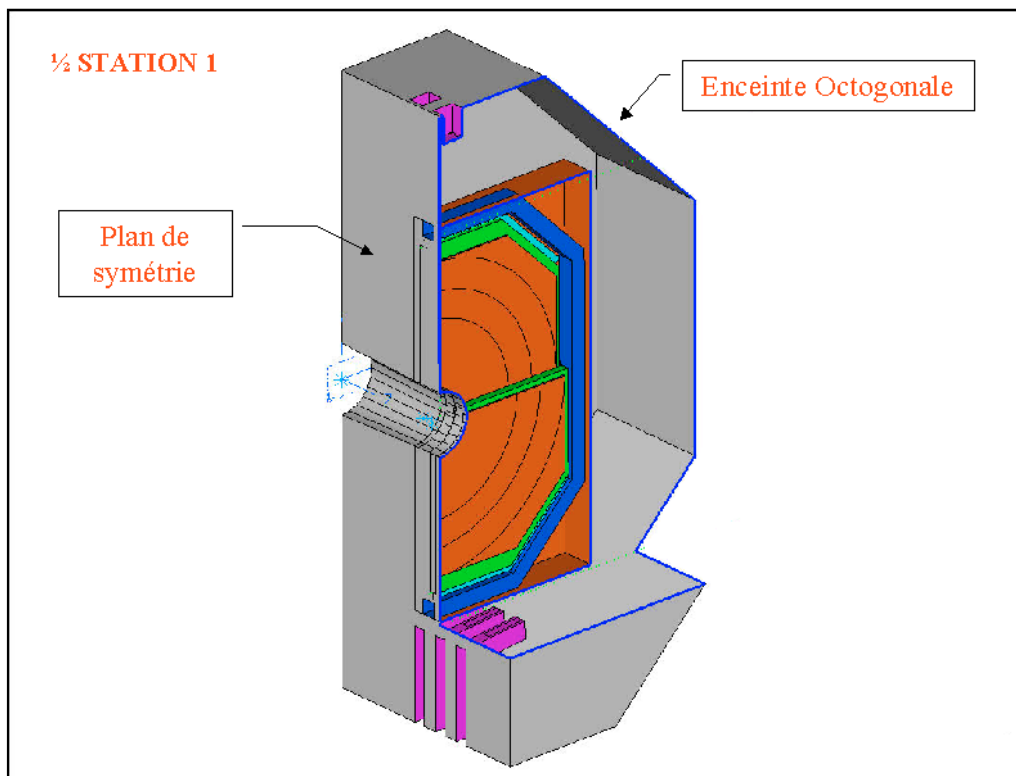


Fig. 3: Modèle de la moitié de la station 1.

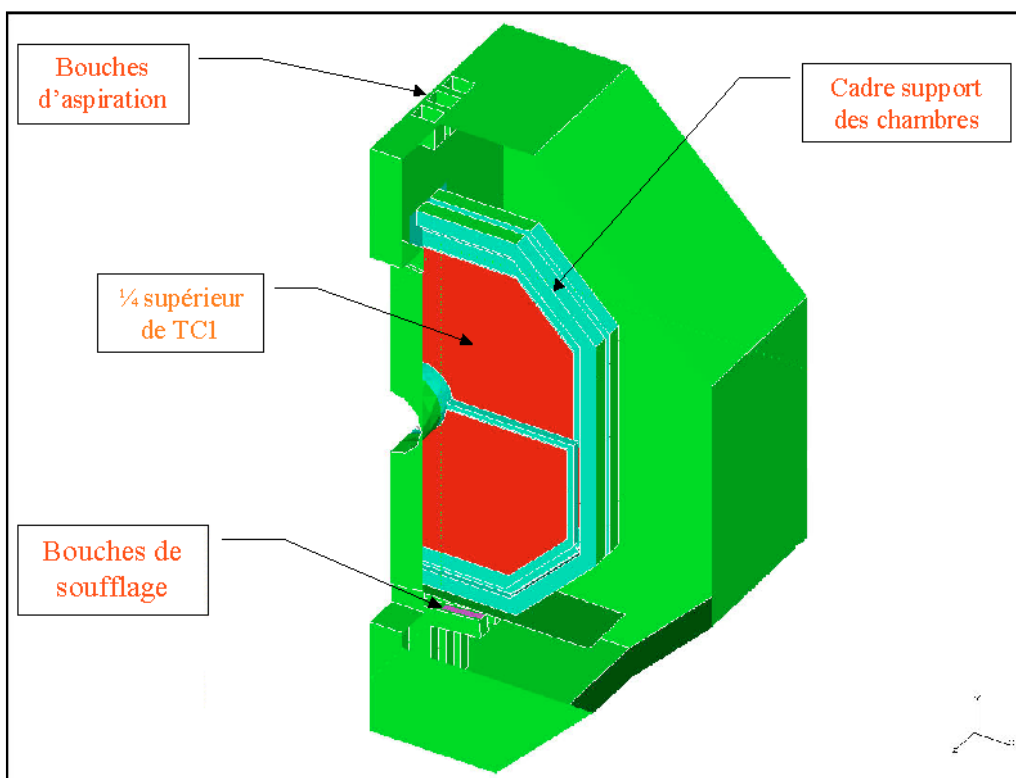


Fig. 4: Eléments du modèle de ST1.

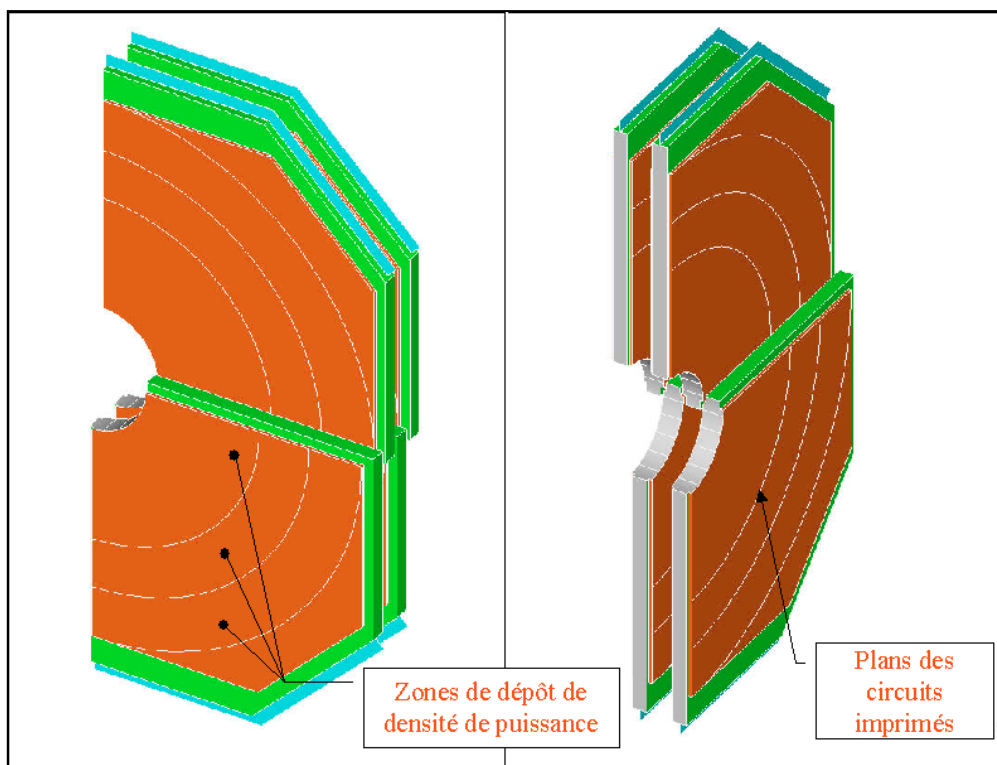


Fig. 5: Plans des circuits imprimés de TC1 et TC2.

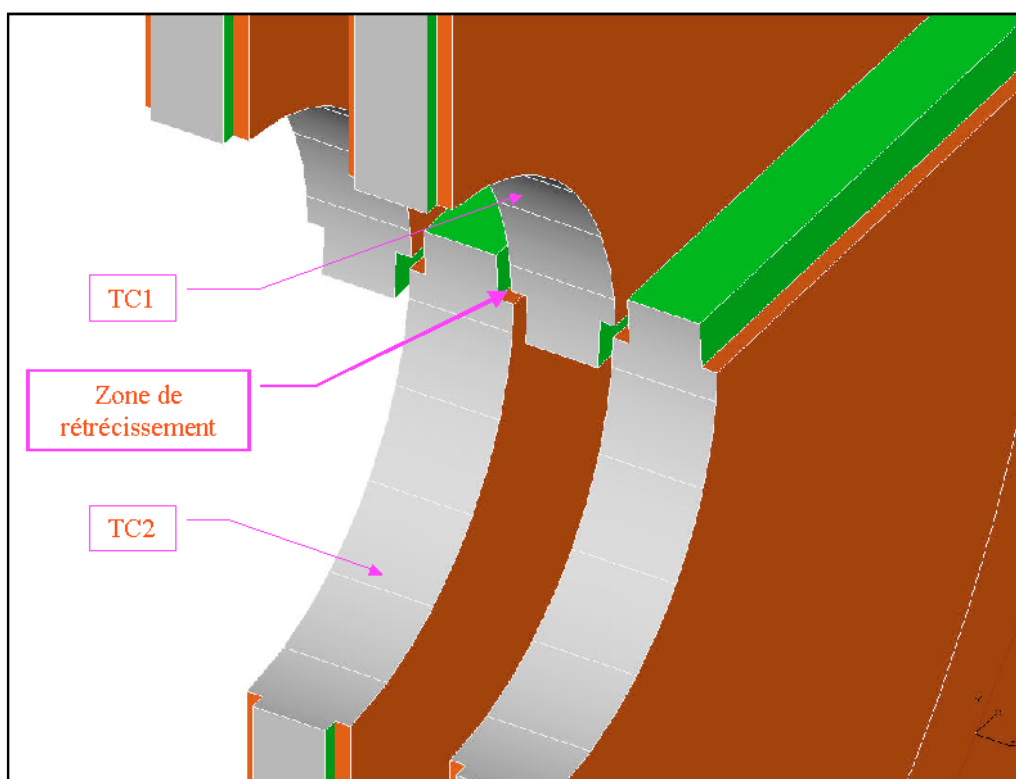


Fig. 6: Zone de rétrécissement entre TC1 et TC2.

3. Calcul.

3.1 Conditions nominales.

Les calculs réalisés sont de type linéaire, en régime établi, pour les transferts de chaleur en conduction et en convection. La puissance générée par l'électronique est donnée comme une condition aux limites sous la forme d'une densité de puissance surfacique répartie sur les plans de circuits imprimés (Fig. 5). L'intégrale de ces dépôts pour la moitié de la station 1 correspond à une puissance de 1236 W. Le débit d'air est de 300 m³/h, soit une vitesse de 3 m/s pour chacune des trois entrées d'air, la température en entrée est de 20°C. Les parois de l'enceinte étant considérées comme adiabatiques, toute la chaleur est évacuée par les bouches d'air vers l'extérieur.

Plusieurs cas de calculs ont été effectués en modifiant la géométrie et/ou les conditions nominales.

3.2 Cas n°1.

Ce cas correspond aux conditions nominales énumérées au paragraphe 3.1.
La température de l'air dans tout le volume varie de 20°C à 73°C (Fig. 7).

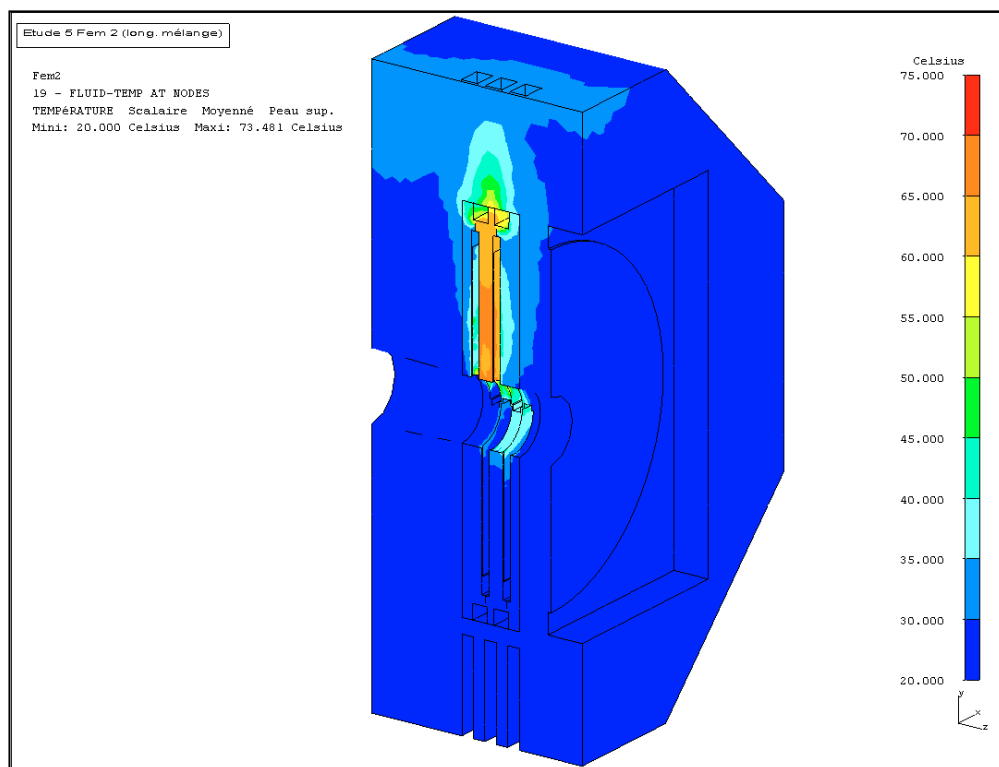


Fig. 7: Température de l'air: 20°C à 73°C.

Les températures les plus élevées sont localisées dans la partie supérieure entre TC1 et TC2 (Fig. 8). On observe la carte de températures entre TC1 et TC2 en positionnant un plan de coupe vertical entre les deux chambres (Fig. 9). Nous constatons que le gradient de températures est nettement plus fort entre les quarts de chambres supérieurs.

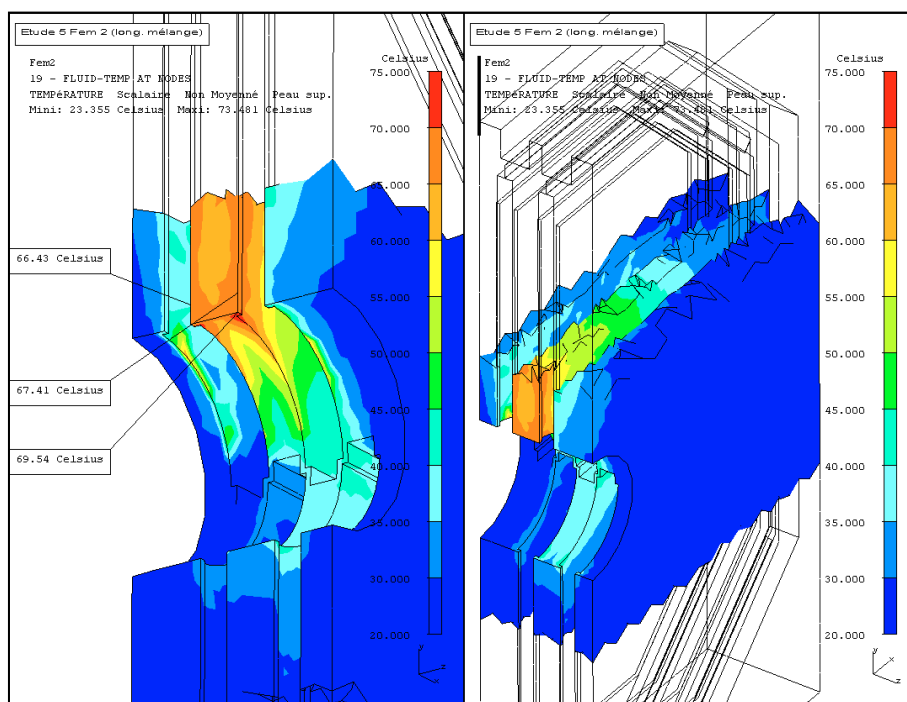


Fig. 8: Zoom sur les températures autour de TC1 et TC2.

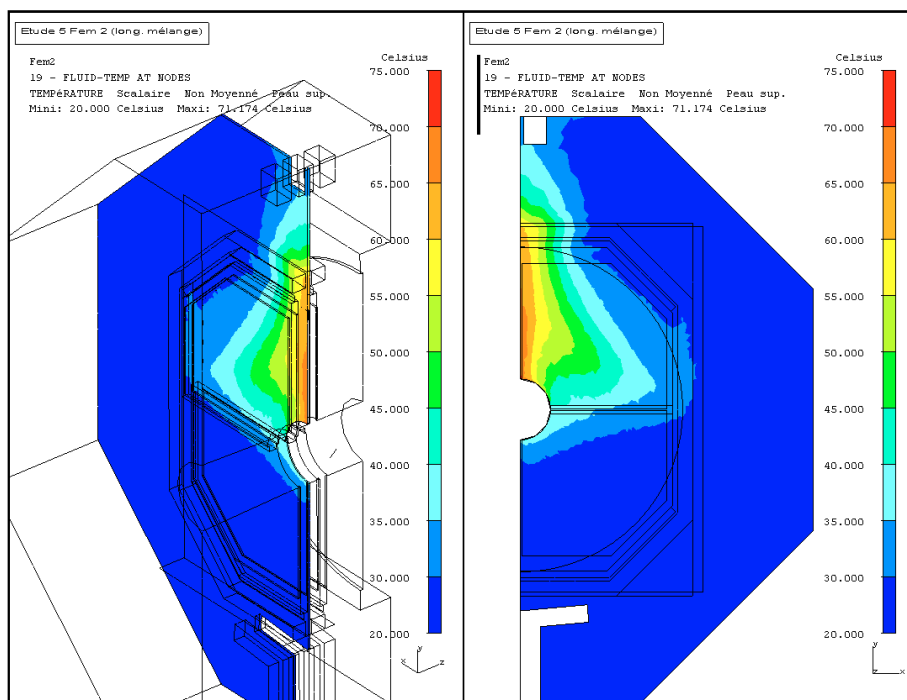


Fig. 9: Vue des températures dans un plan de coupe entre TC1 et TC2.

Ces gradients sont le résultat du ralentissement de la vitesse de l'air (Fig. 10), au passage du rétrécissement horizontal entre TC1 et TC2 (Fig. 6).

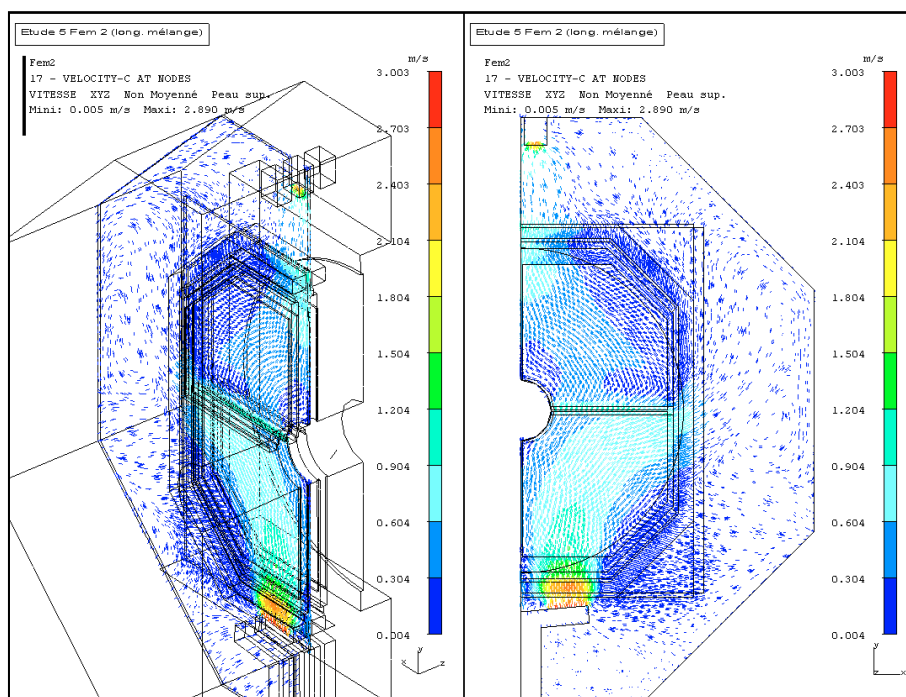


Fig. 10: Champs de vitesses dans le plan de coupe entre TC1 et TC2.

3.3 Cas n°2.

On écarte TC1 et TC2 de 20 mm (Fig. 11).

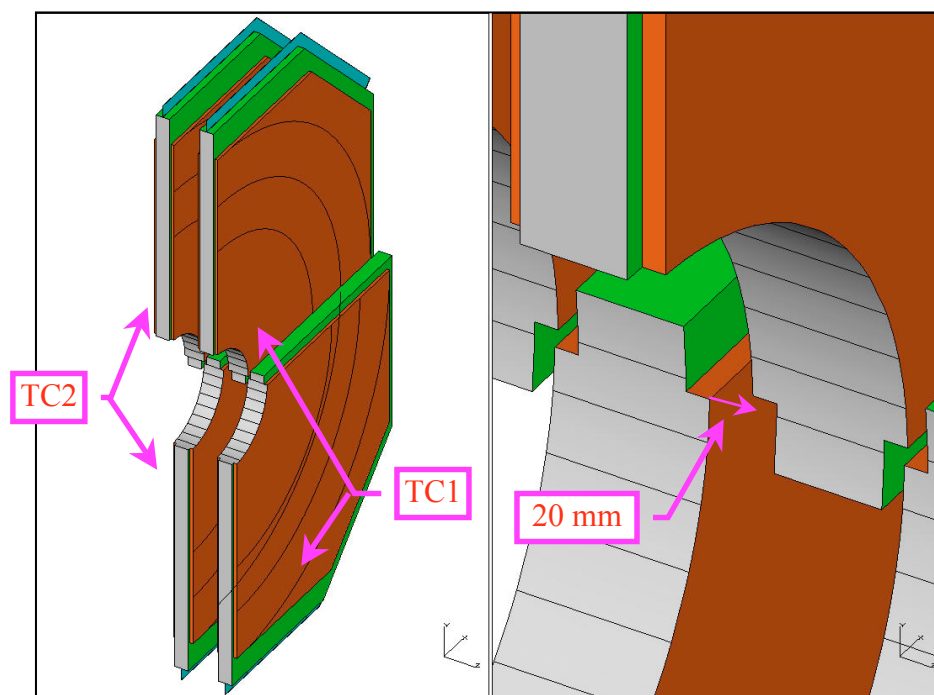


Fig. 11: Espacement de 20 mm entre TC1 et TC2.

Le calcul est réalisé avec les mêmes conditions que le cas précédent (n°1). Les températures baissent entre TC1 et TC2 (Fig. 12 et Fig. 13).

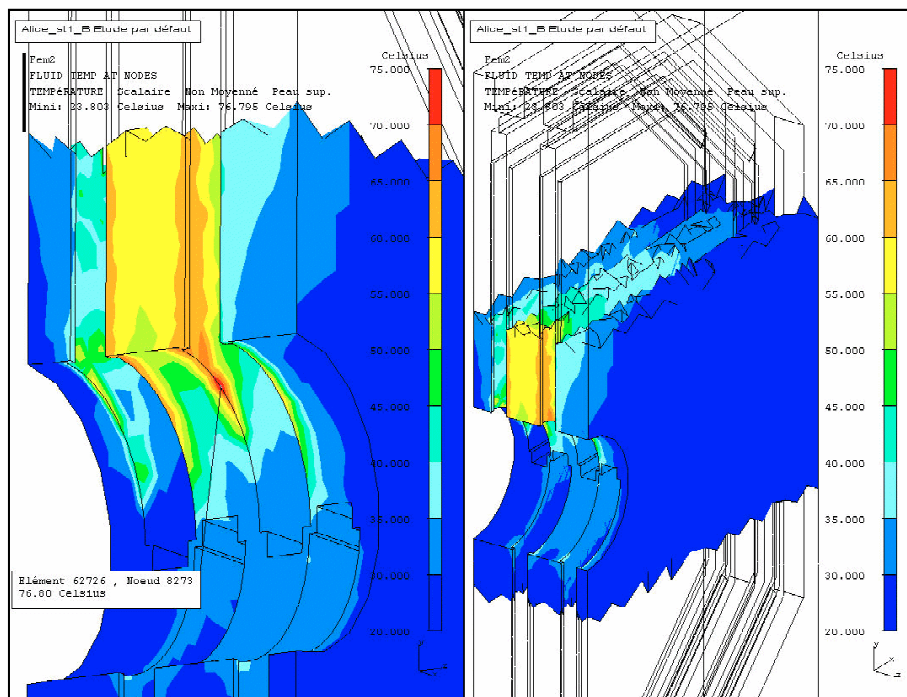


Fig. 12: Zoom sur les températures autour de TC1 et TC2.

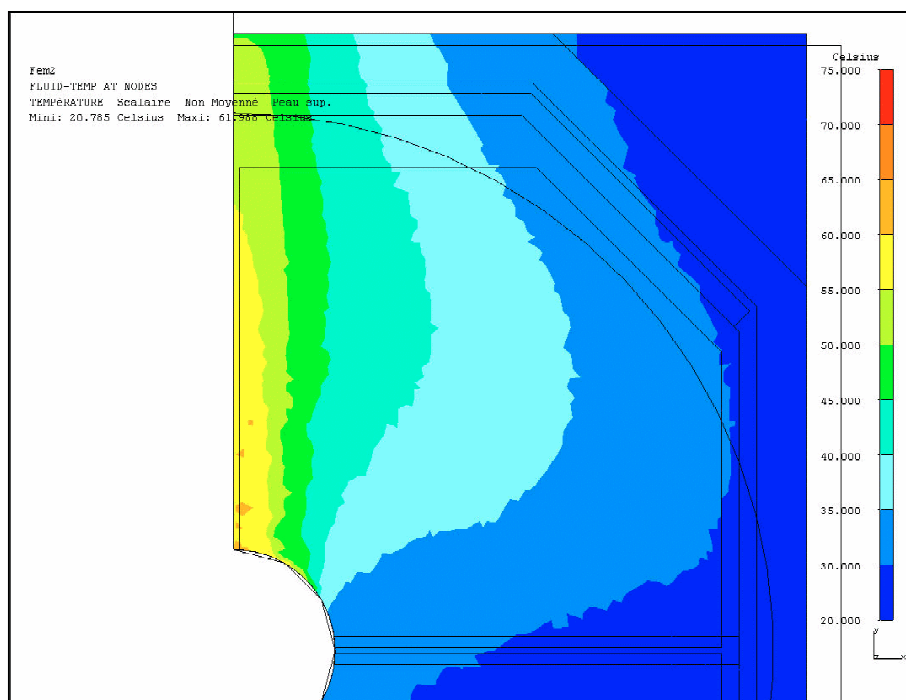


Fig. 13: Vue des températures dans un plan de coupe entre TC1 et TC2.

3.4 Cas n°2 Bis.

L'écartement des chambre de 20 mm ayant eu pour effet une baisse des températures moyennes d'une dizaine de degrés, on augmente le débit d'air de la bouche d'entrée située entre TC1 et TC2, la vitesse passe de 3 m/s à 6 m/s. Contrairement à l'effet attendu la température de l'air remonte (Fig. 14).

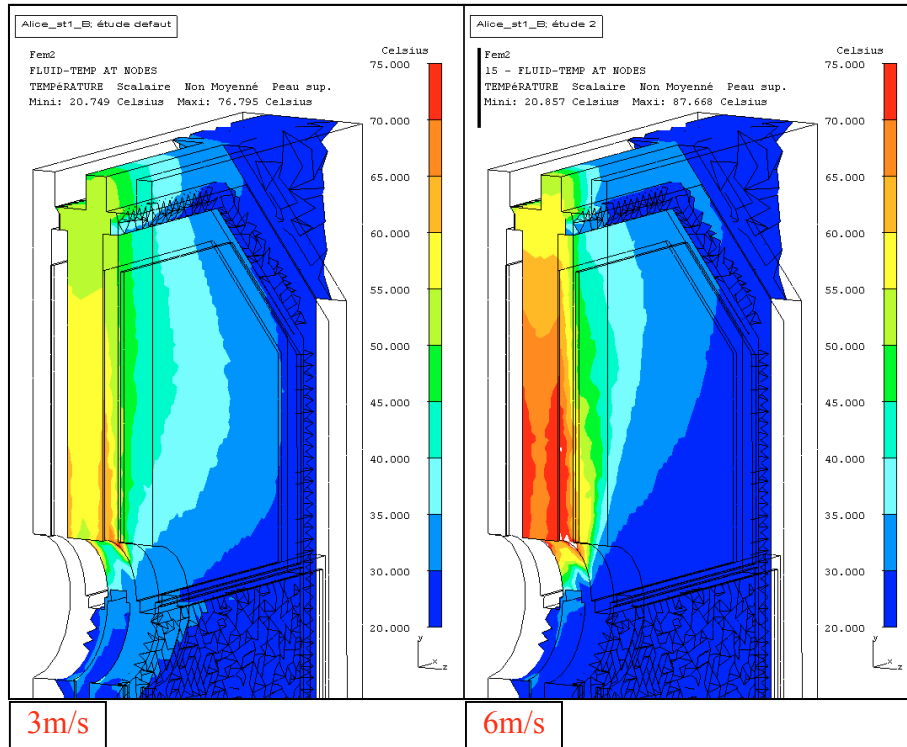


Fig. 14: Températures de l'air entre TC1 et TC2 @ 3m/s et 6m/s.

Cette augmentation de la température de l'air est due à une diminution de la vitesse locale (donc à la diminution du coefficient d'échange convectif) dans la région située au dessus du demi cylindre (blindage de chambre faisceau). Cette diminution de vitesse est liée à la formation de tourbillons dans une zone de re-circulation (Fig. 15 et Fig. 16). Cette zone de re-circulation prend naissance dans la partie arrière du demi cylindre par rapport à l'écoulement. Voir note paragraphe 6.

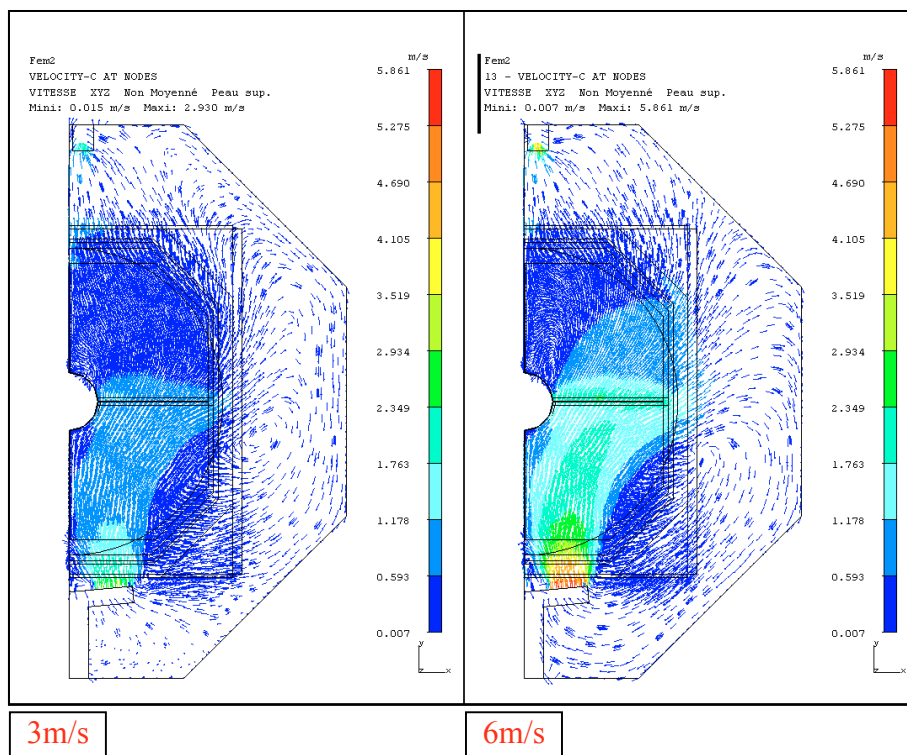


Fig. 15: Champs de vitesses dans un plan entre TC1 et TC2 pour 3m/s et 6m/s.

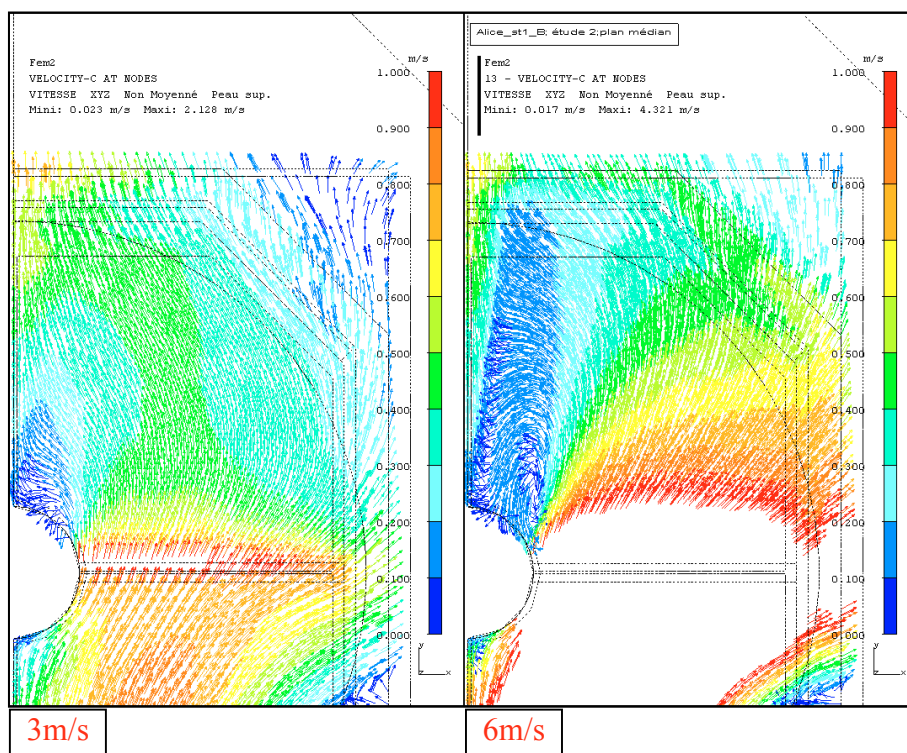


Fig. 16: Vue détaillée de la zone de re-circulation, échelle de vitesses 0-1m/s.

3.5 Cas n°3.

Les chambres sont écartées de 40 mm (Fig. 17).

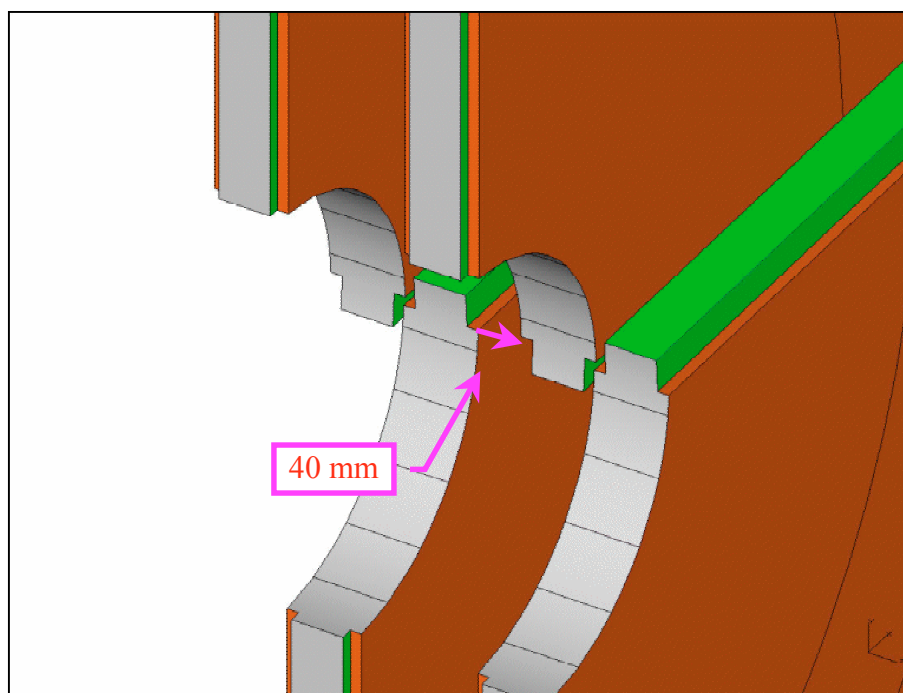


Fig. 17: Ecartement des chambres TC1 et TC2 de 40 mm.

Le calcul est lancé avec les conditions nominales du cas n°1 (vitesses entrée air :3m/s). Les températures entre les chambres baissent par rapport au cas n°2 (Fig. 18 et Fig. 19).

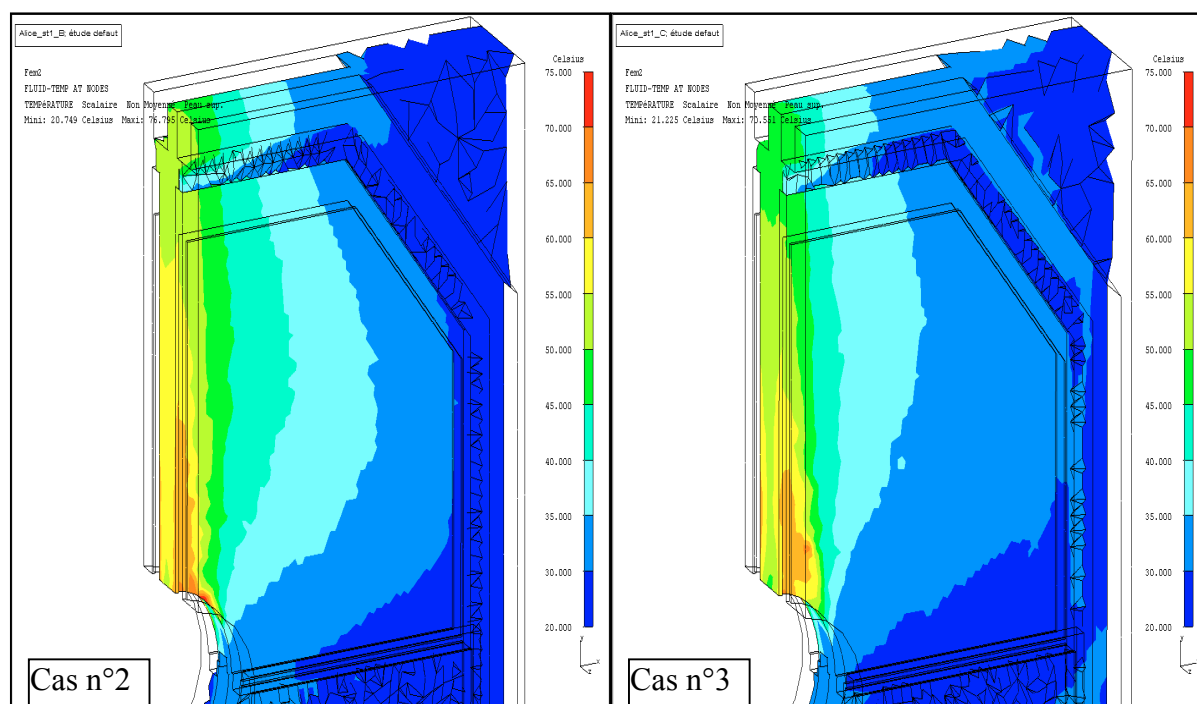


Fig. 18:Températures entre TC1 et TC2, comparaison cas n°2 et cas n°3.

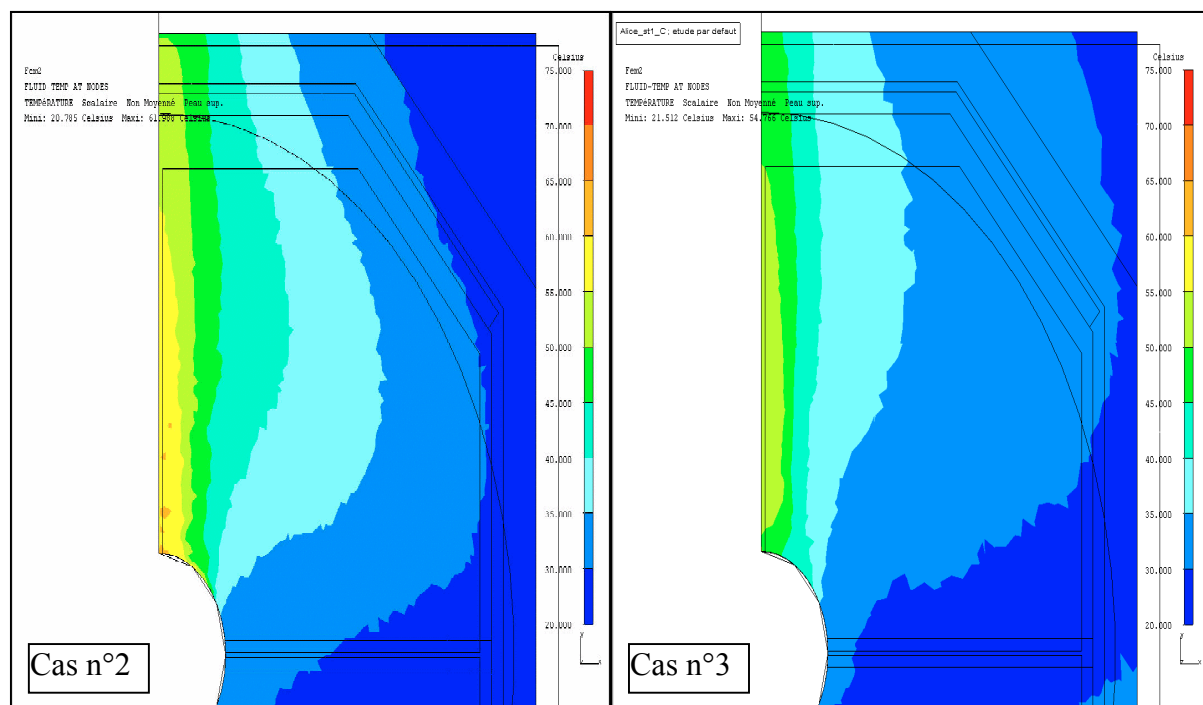


Fig. 19: Températures dans un plan entre TC1 et TC2, comparaison cas n°2 et cas n°3.

3.6 Cas n°4.

Les chambres restant écartées de 40 mm, on déplace les bouches d'entrée d'air d'environ 20 cm vers l'extérieur (direction opposée au plan de symétrie) en allongeant le bras qui supporte ces bouches d'air (Fig. 20).

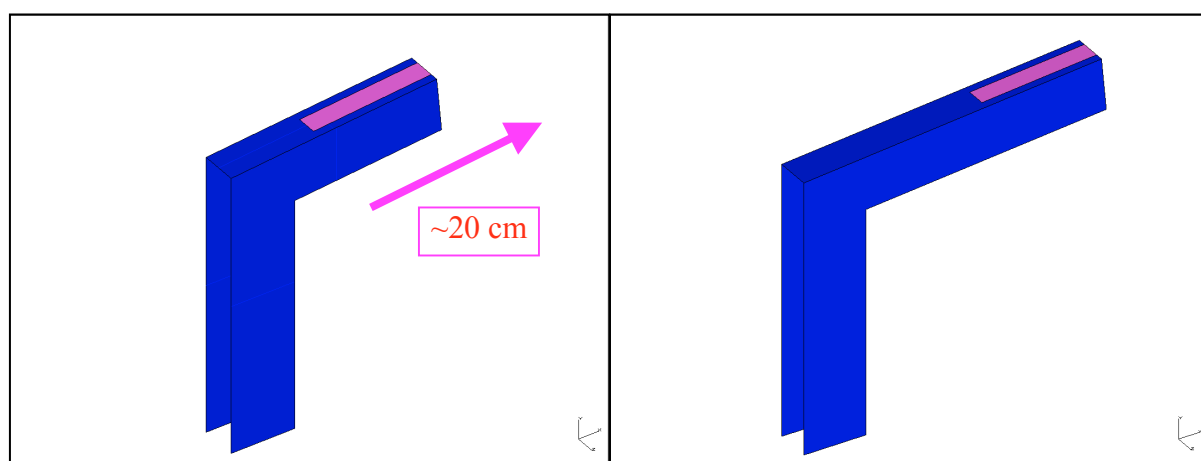


Fig. 20: Déplacements des bouches d'entrée d'air.

Un calcul est réalisé avec les conditions nominales du cas n°1 (vitesses entrée air: 3m/s). La température de l'air diminue par rapport au cas précédent (n°3) entre les chambres 1 et 2 dans la partie supérieure. Cependant les gradients augmentent dans la partie inférieure (Fig. 21 et Fig. 22). Cette remontée des températures est due à des zones de re-circulation d'air sous le demi cylindre (Fig. 23).

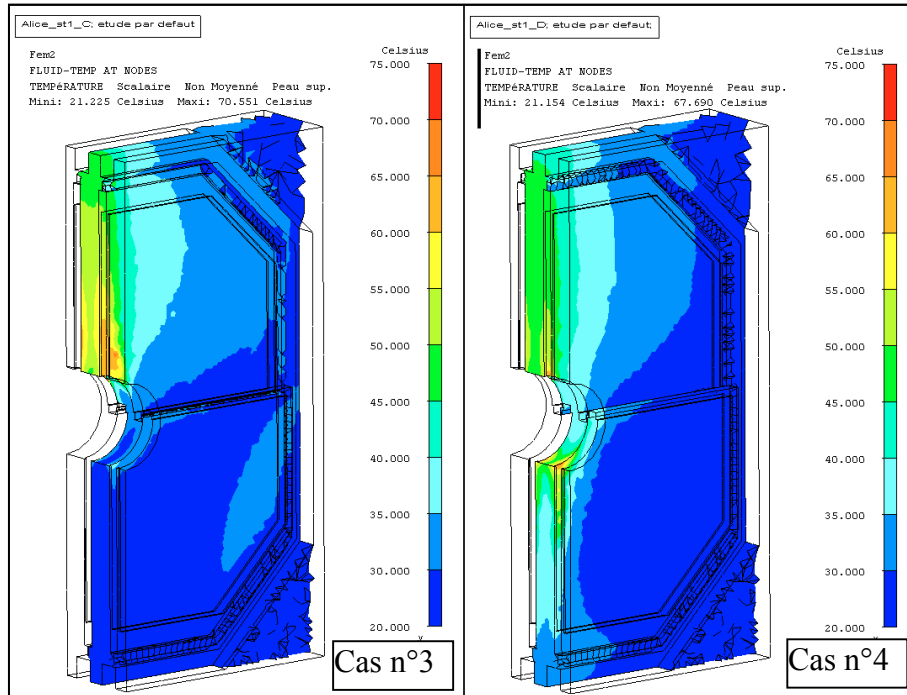


Fig. 21: Températures entre TC1 et TC2, comparaison cas n°3 et cas n°4.

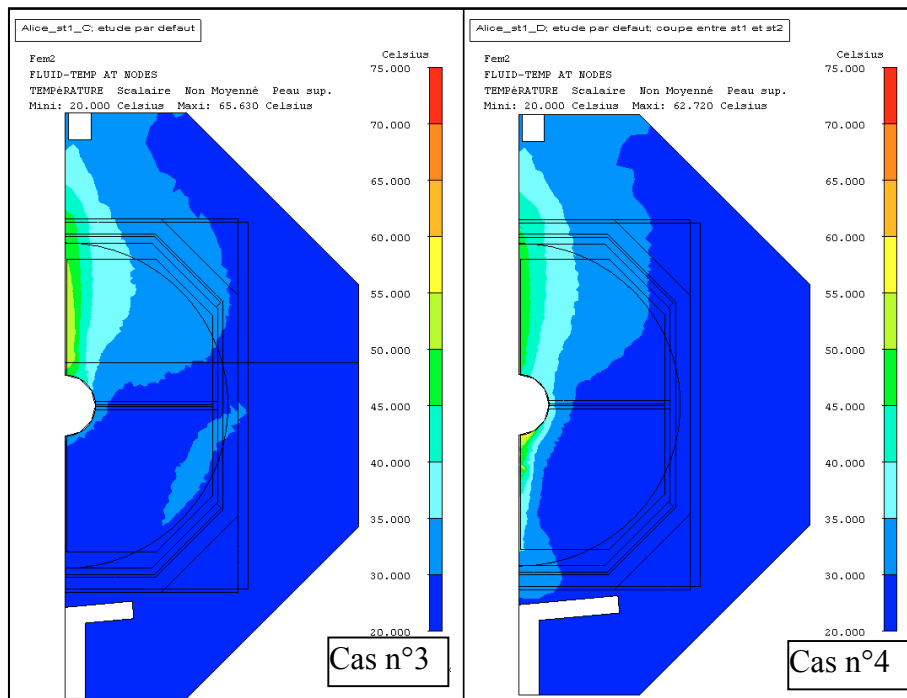


Fig. 22: Températures dans un plan entre TC1 et TC2, comparaison cas n°3 et cas n°4.

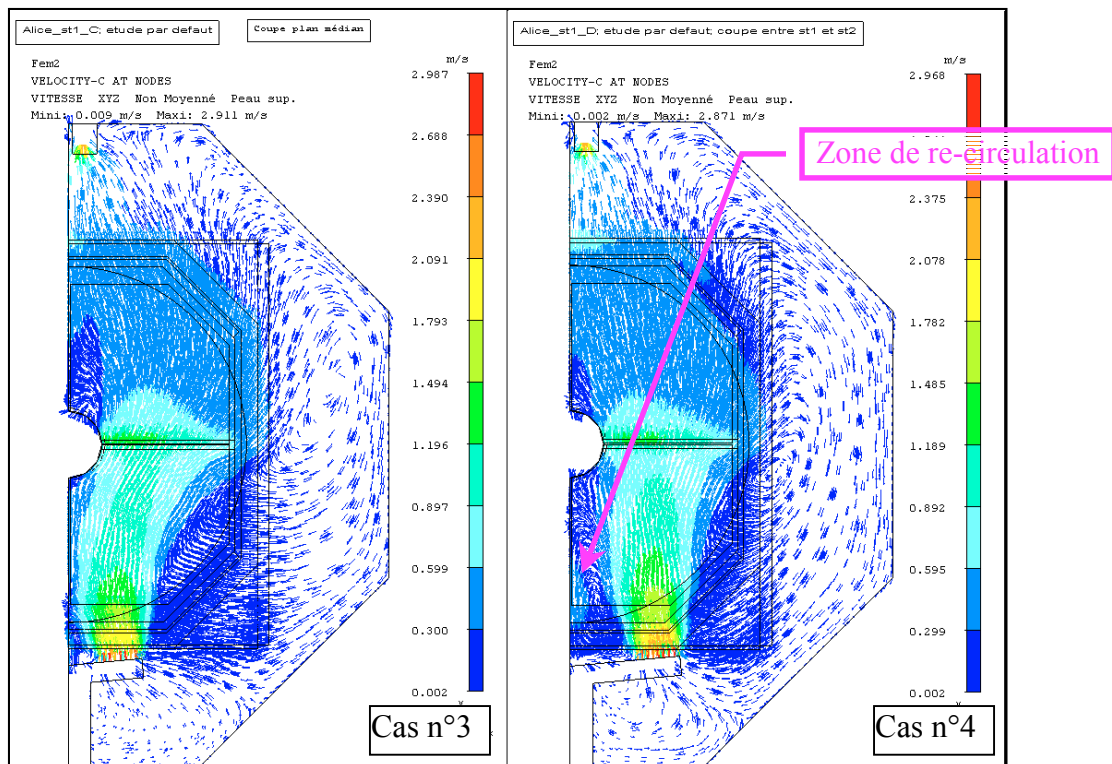


Fig. 23: Champs de vitesses dans un plan entre TC1 et TC2, comparaison cas n°3 et cas n°4.

3.7 Cas n°5.

Pour ce cas de calcul l'emplacement des bouches d'air est inchangé (par rapport au cas n°4), mais la surface des bouches d'entrée est agrandie (Aire $\sim x2$). La vitesse d'entrée reste à 3m/s, le calcul est fait avec les conditions nominales du cas n°1, avec le débit volumique d'air multiplié par deux (Fig. 24).

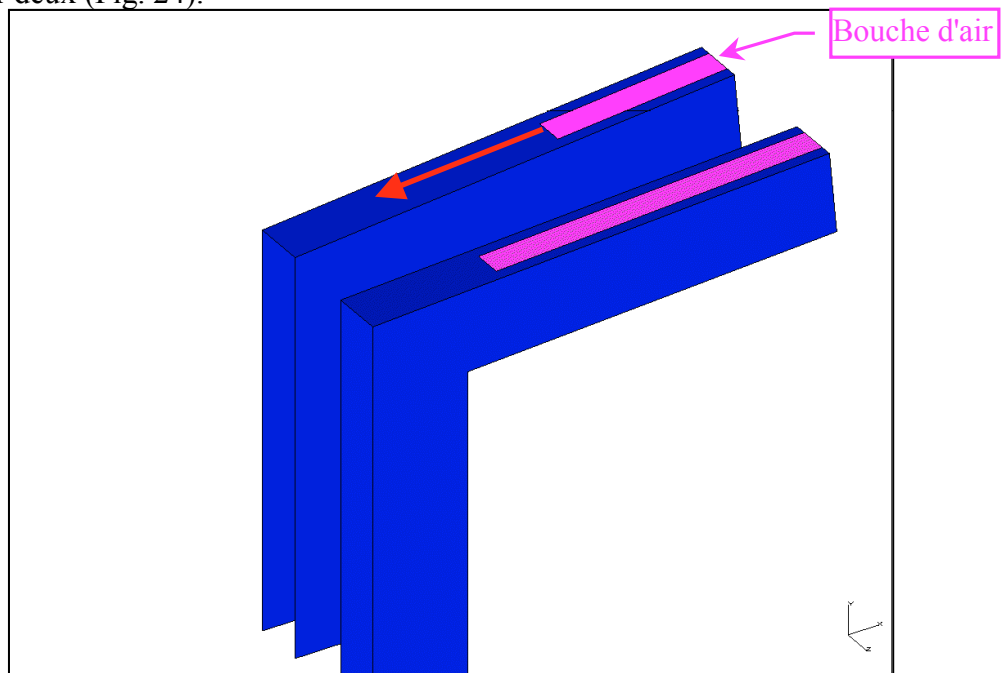


Fig. 24: Agrandissement de la surface des bouches d'air ($\sim x2$).

On constate que les températures augmentent de nouveau par rapport au cas précédent n°4, dans la partie supérieure des chambres, pendant qu'elles diminuent dans la partie inférieure (Fig. 25 et Fig. 26).

Cet effet est toujours dû à l'écoulement d'air (Fig. 27), et à la formation de tourbillons au dessus du demi cylindre.

Les gradients de température dans la partie supérieure entre TC1 et TC2 se rapproche de ceux obtenu dans le cas n°3 (Fig. 21).

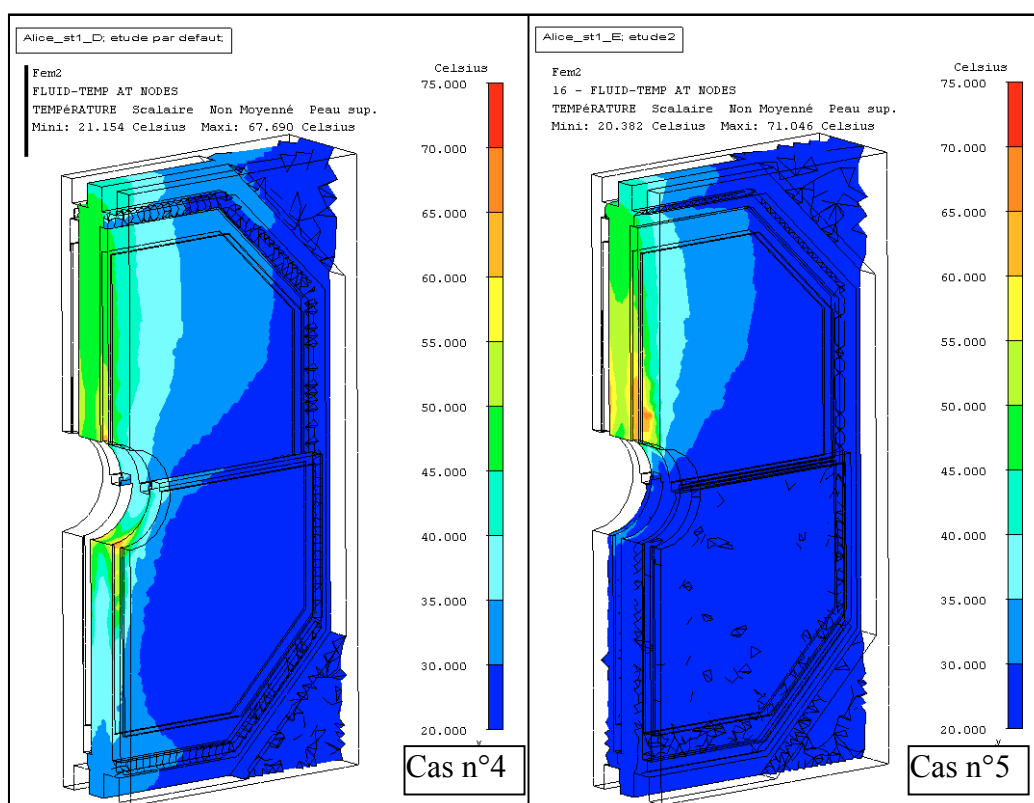


Fig. 25: Températures entre TC1 et TC2, comparaison cas n°4 et cas n°5.

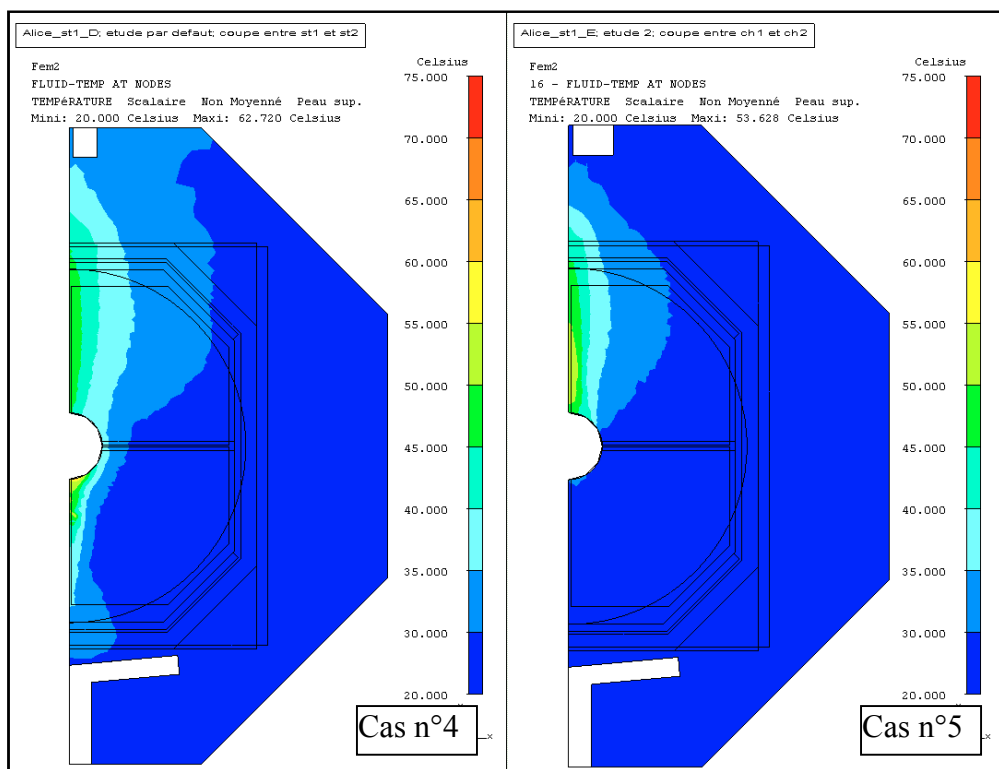


Fig. 26: Températures dans un plan entre TC1 et TC2, comparaison cas n°4 et cas n°5.

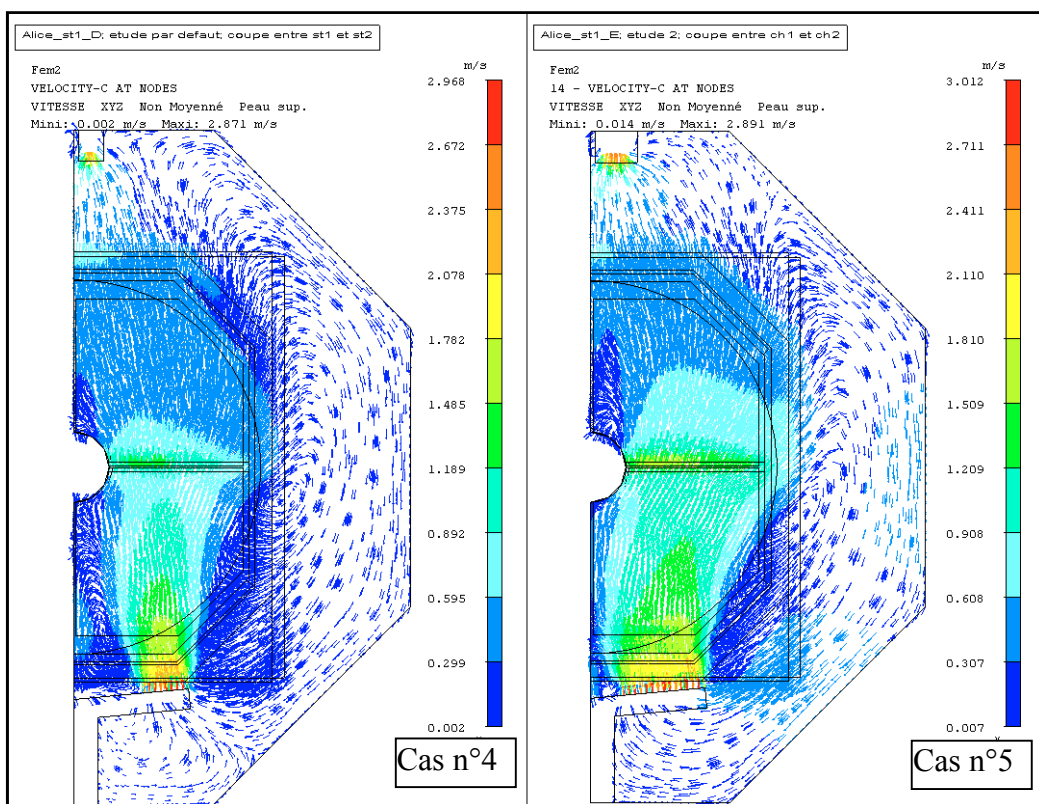


Fig. 27: Champs de vitesses dans un plan entre TC1 et TC2, comparaison cas n°4 et cas n°5.

3.8 Cas n°6.

Toujours dans le but de diminuer les températures entre les chambres TC1 et TC2 nous ajoutons une bouche de sortie d'air située au dessus du demi cylindre et modélisée par une surface rectangulaire dans le plan de symétrie (Fig. 28). L'aire de cette surface est identique à celle du cas nominal soit $9.28 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ (4cm x 23.2cm).

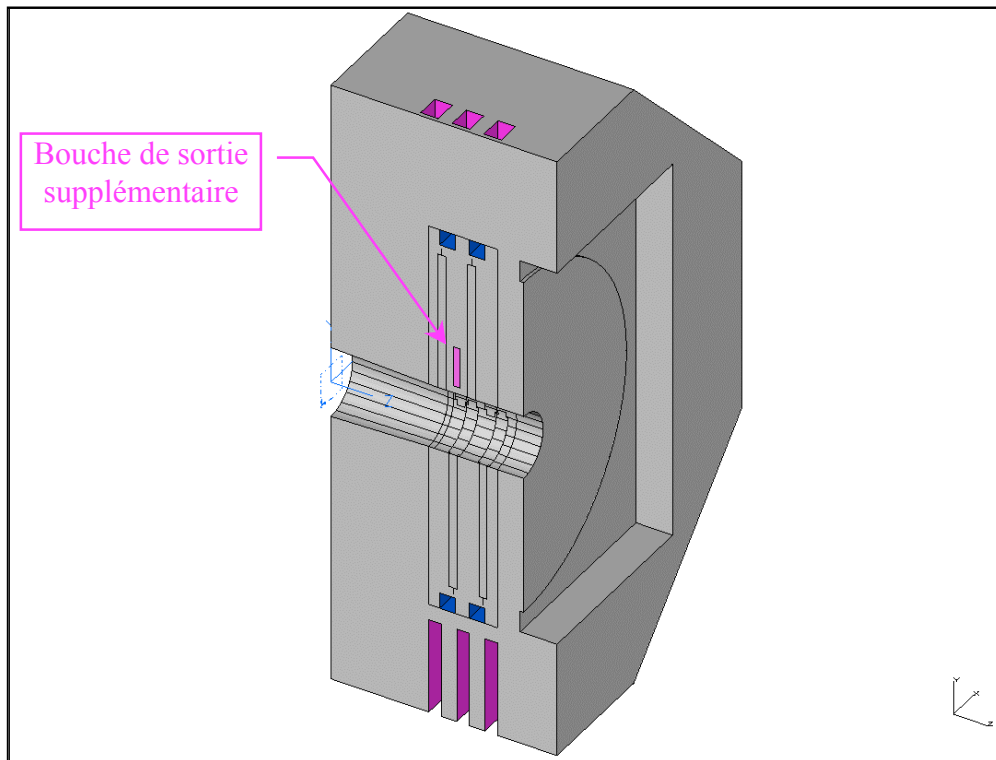


Fig. 28: Bouche de sortie d'air supplémentaire entre TC1 et TC2.

Le calcul est effectué avec les conditions nominales du cas n°1, soit les bouches de soufflage en position initiale et une vitesse de 3m/s en entrée.

En comparant au cas n°3, où les bouches d'entrée d'air sont au même endroit, on constate une forte diminution du gradient de température entre TC1 et TC2, dans la partie supérieure. Dans la zone chaude, au dessus du demi cylindre, la température moyenne est de 38°C soit une baisse d'environ 20°C (Fig. 29 et Fig. 30).

Par rapport au cas n°4, où les bouches d'entrée ont été déplacées, on constate aussi une diminution du gradient de température entre TC1 et TC2, plus particulièrement dans la partie inférieure où la température est devenue plus homogène (Fig. 31 et Fig. 32).

On peut observer sur les champs de vitesses de l'air, dans un plan entre TC1 et TC2, l'effet de cette bouche d'aspiration supplémentaire par rapport aux cas n°3 et n°4 (Fig. 33 et Fig. 34).

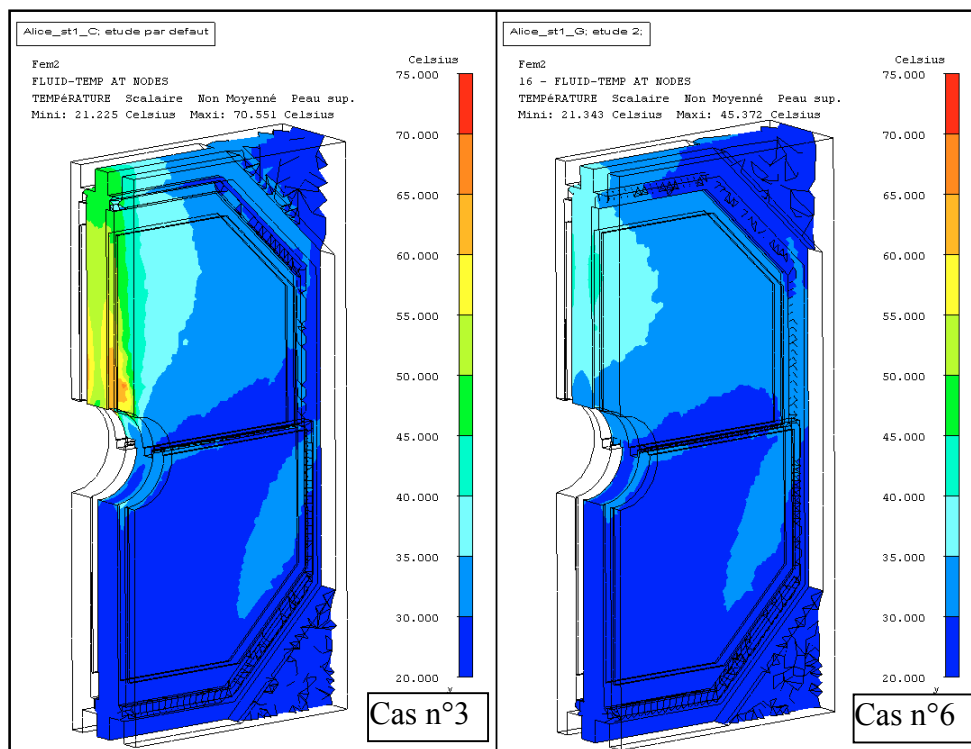


Fig. 29: Températures entre TC1 et TC2, comparaison cas n°3 et cas n°6.

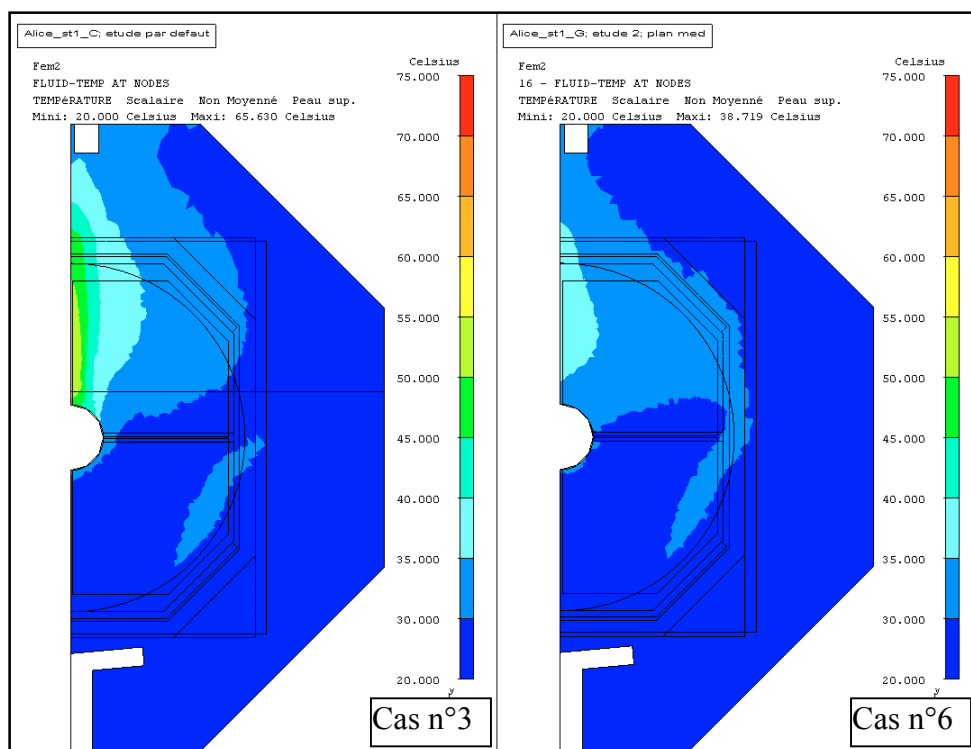


Fig. 30: Températures dans un plan entre TC1 et TC2, comparaison cas n°3 et cas n°6.

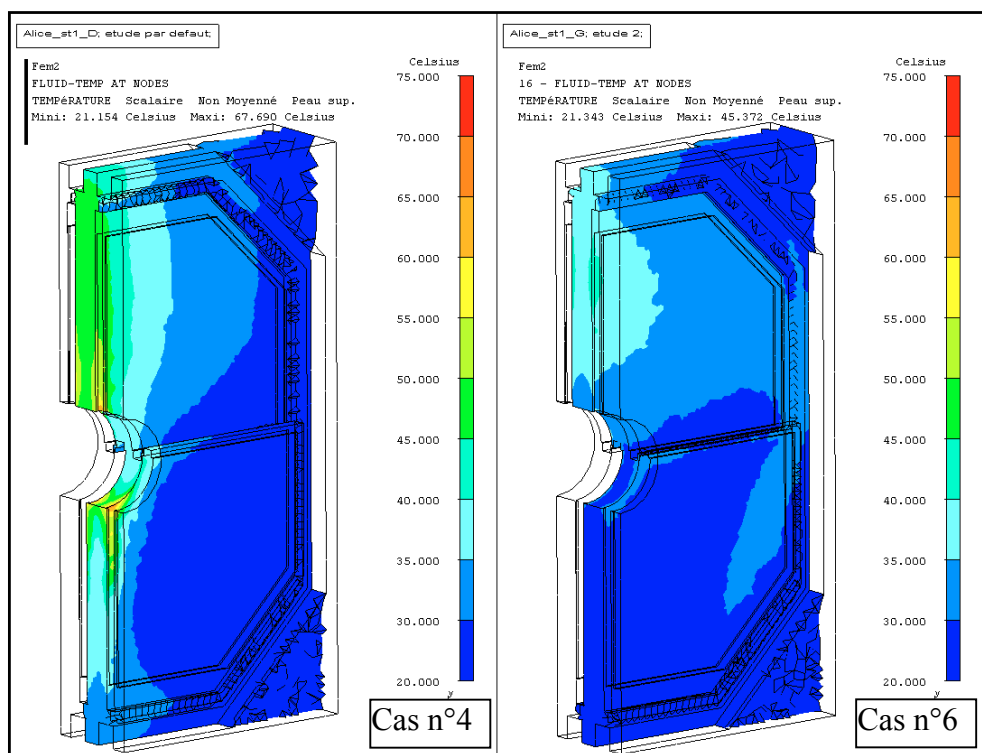


Fig. 31: Températures entre TC1 et TC2, comparaison cas n°4 et cas n°6.

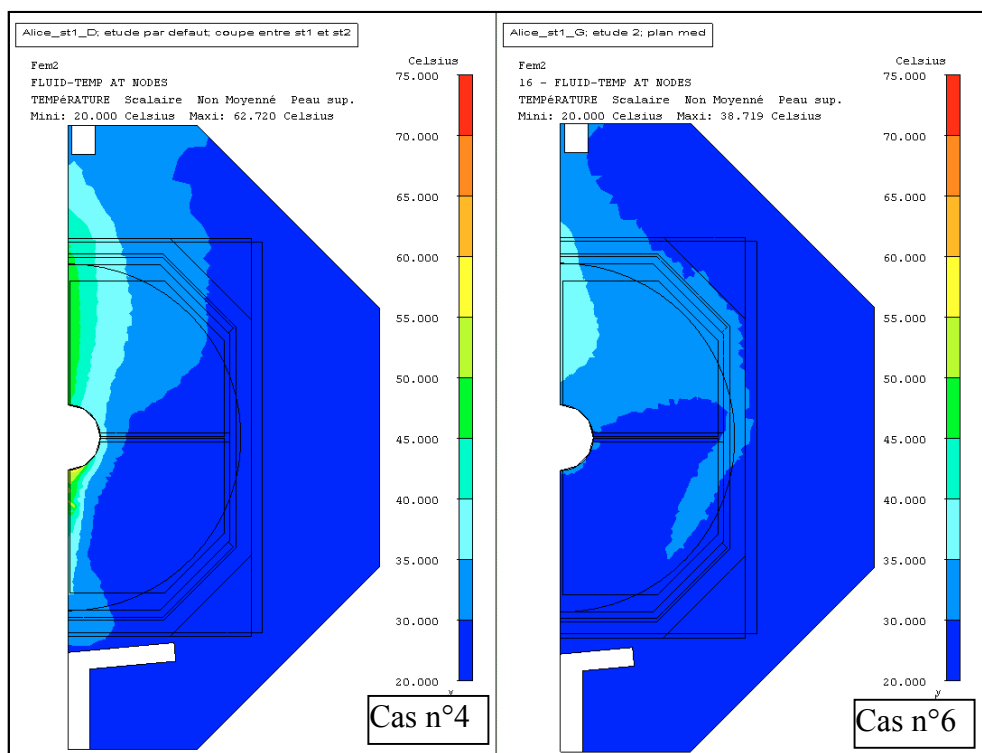


Fig. 32: Températures dans un plan entre TC1 et TC2, comparaison cas n°4 et cas n°6.

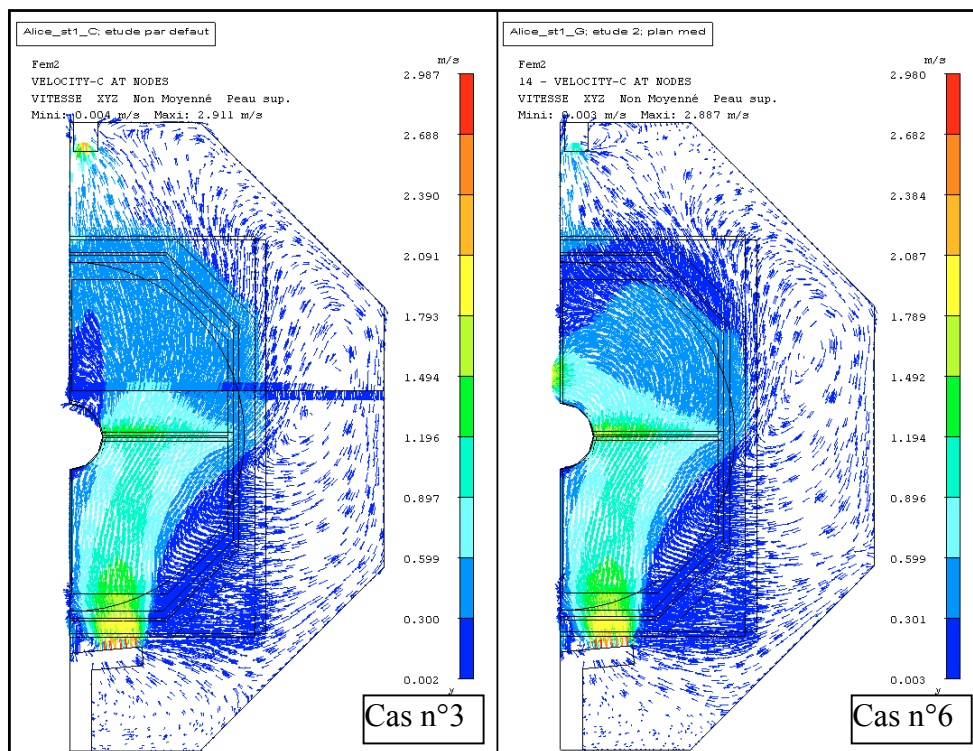


Fig. 33: Champs de vitesses dans un plan entre TC1 et TC2, comparaison cas n°3 et cas n°6.

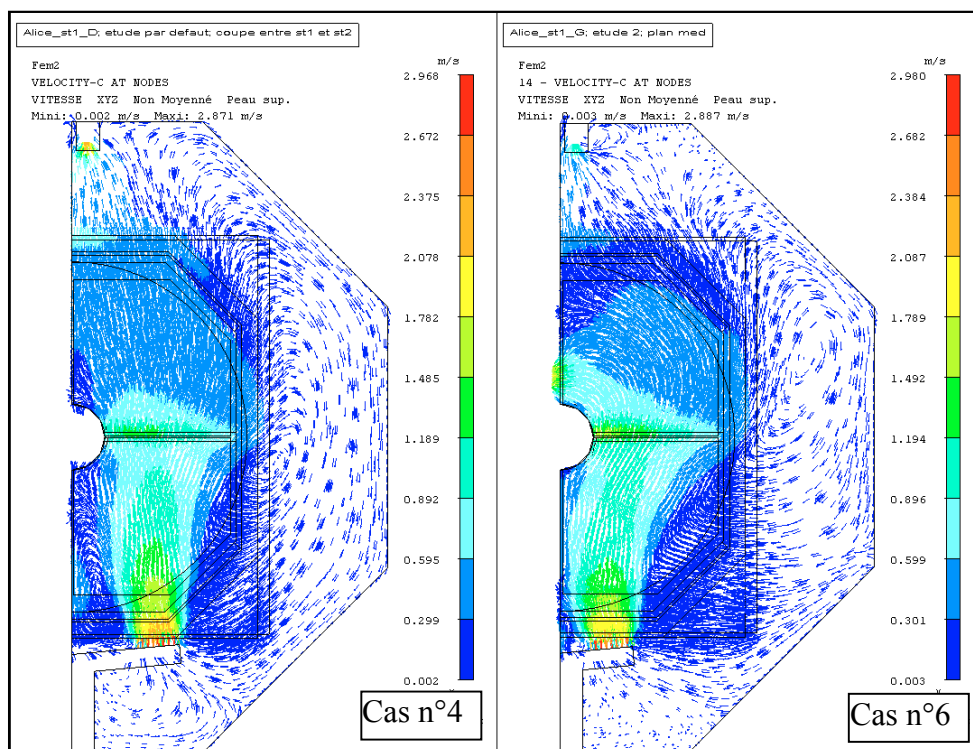


Fig. 34: Champs de vitesses dans un plan entre TC1 et TC2, comparaison cas n°4 et cas n°6.

4. Commentaires.

4.1 Température de l'air dans l'enceinte.

Pour les cas de calculs précédemment étudiés on s'intéressait à l'évolution de la température de l'air entre les chambre TC1 et TC2. Voyons maintenant la température de l'air dans toute l'enceinte modélisée et pour le Cas de calcul n°6

. Pour faciliter l'interprétation des résultats nous découpons, dans le volume global de l'enceinte Fig. 35 A, un sous volume autour de la station ST1 Fig. 35 B .

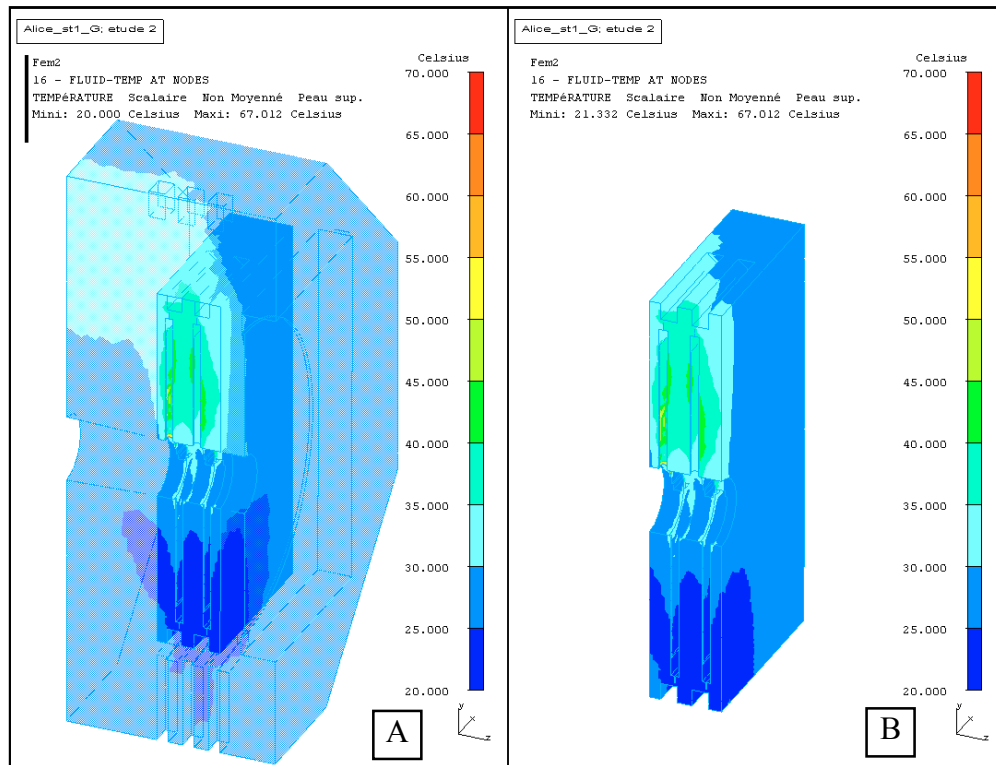


Fig. 35: Températures dans le volume globale {A}, et autour de ST1 {B}.

Les températures dans l'enceinte sans ST1 restent inférieures à 37°C, alors que dans le volume autour de ST1 les températures atteignent 67°C.

Un analyse plus fine du volume d'air autour de ST1, révèle que les températures restent majoritairement inférieures à 40°C (Fig. 36 A et B). Seuls quelques éléments situés sur des faces angulaires indiquent des températures comprises entre 40°C et 67°C (Fig. 37 B).

Ces valeurs ne semblent pas significatives dans ce modèle, le maillage pour l'écoulement de l'air dans ces zones frontières n'est pas suffisamment précis.

En résumé nous pouvons dire que les températures moyennes de l'air calculés dans le cas n°6, dans tout le volume, sont comprises entre 20°C et 40°C.

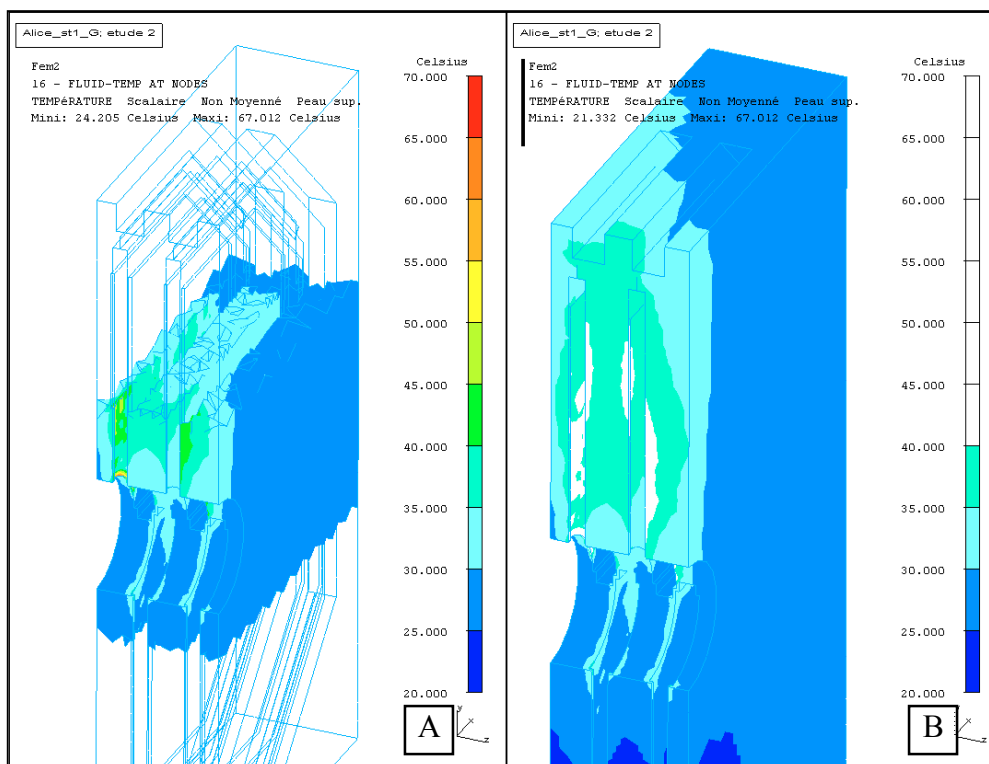


Fig. 36: Températures autour de ST1 coupe {A}, échelle 20°C-40°C {B}.

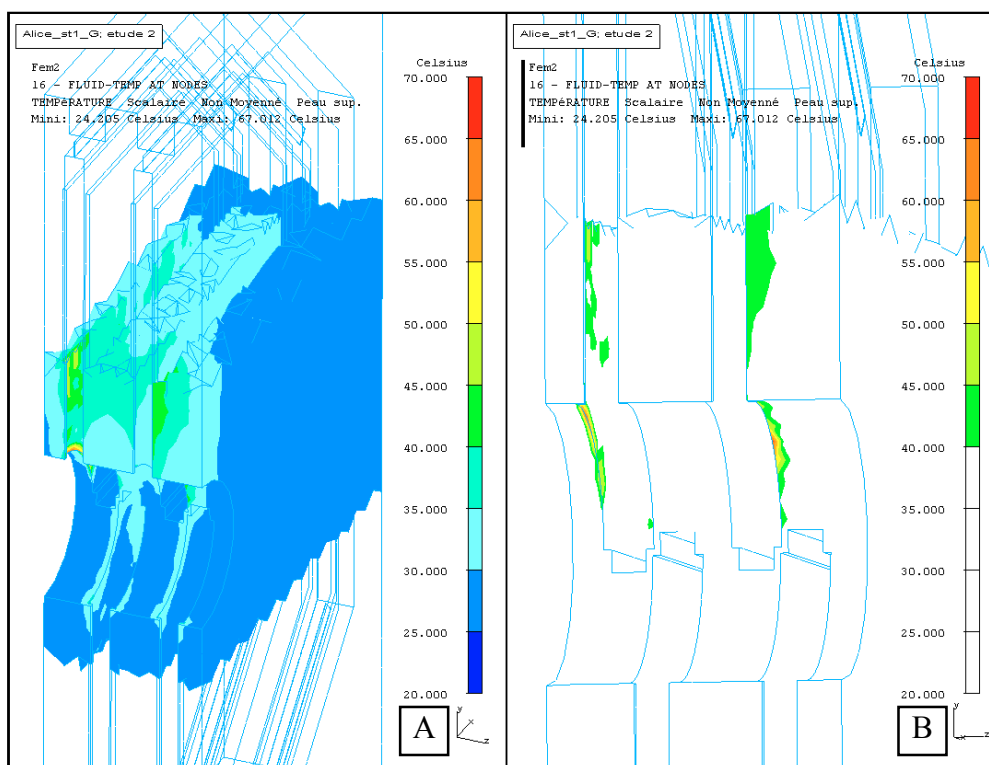


Fig. 37: Températures autour de ST1 coupe {A}, échelle 40°C-70°C {B}.

4.2 Limite de l'hypothèse de symétrie.

Le fait d'avoir simplifier le modèle en appliquant une symétrie appelle au moins deux remarques. La première concerne la symétrie géométrique particulièrement les parties des chambres de tracking (zones de recouvrement) non représentées dans le modèle (Fig. 38).

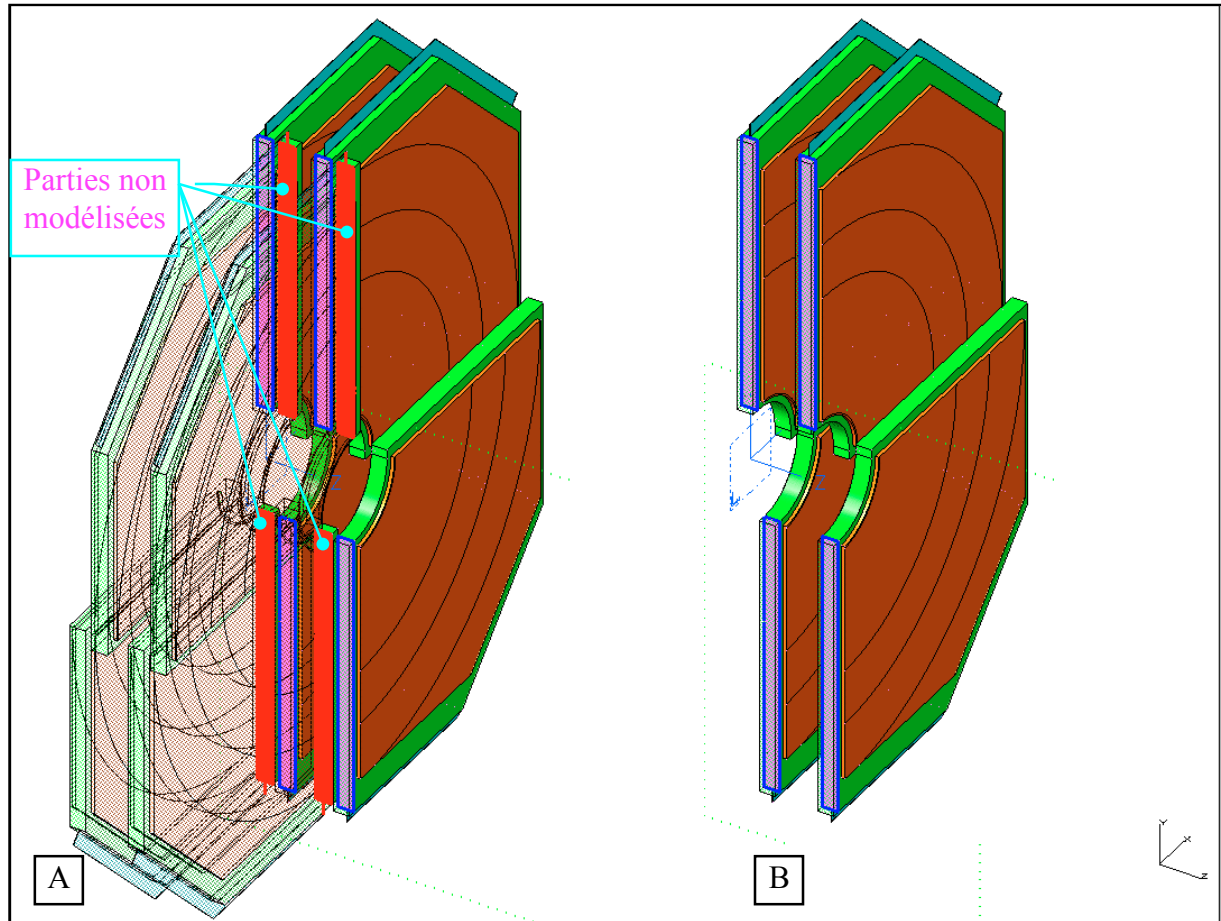


Fig. 38: [A] ST1 avant l'application de la symétrie, [B] $\frac{1}{2}$ ST1 modélisée.

Ceci entraîne la seconde remarque. Dans les zones où il manque une partie des chambres, l'écoulement de l'air sera modifié et les zones de re-circulation seront sujettes à modifications impliquant des changements dans les gradients de températures.

4.3 De la vitesse de l'air sur les plans d'électronique...

Lorsque que l'on regarde l'écoulement de l'air proche des plans de circuits imprimés (Fig. 39), on constate pour les plans externes:

- que les vitesses sont faibles par rapport à la vitesse d'entrée, de l'ordre de 0.6m/s maxi (pour 3m/s en entrée) dans le cadran supérieur.
- que la répartition des vitesse sur les plans est inhomogène et comporte des zones peu balayées (Fig. 40).

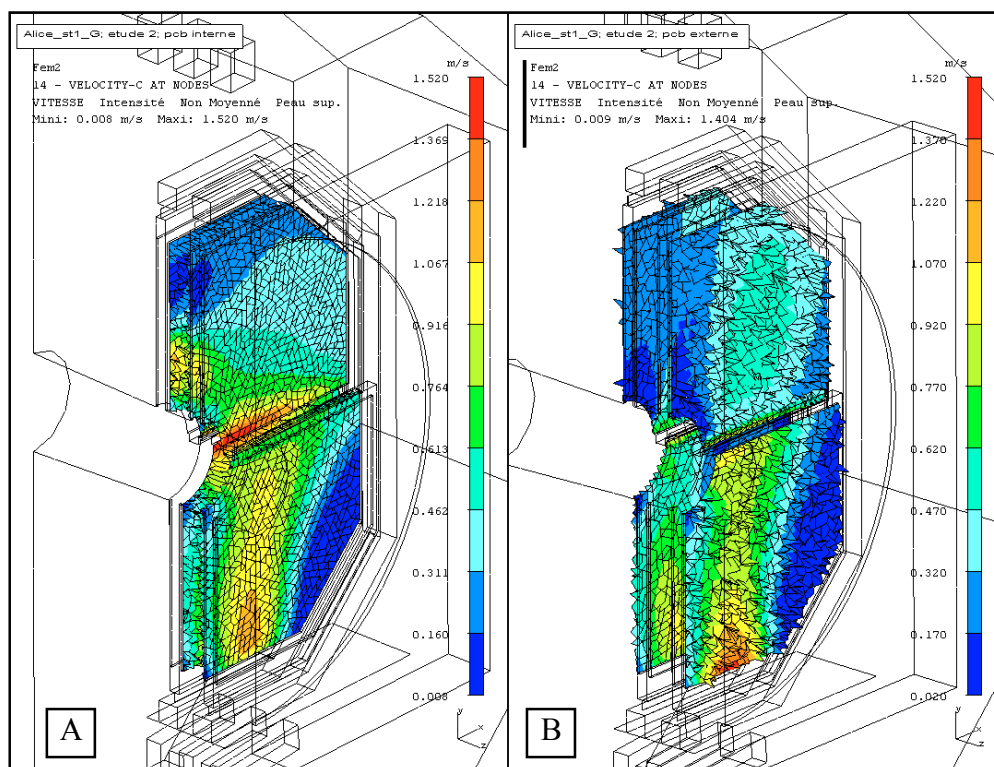


Fig. 39: Vitesse de l'air près des circuits imprimés: [A] plans internes, [B] plans externes.

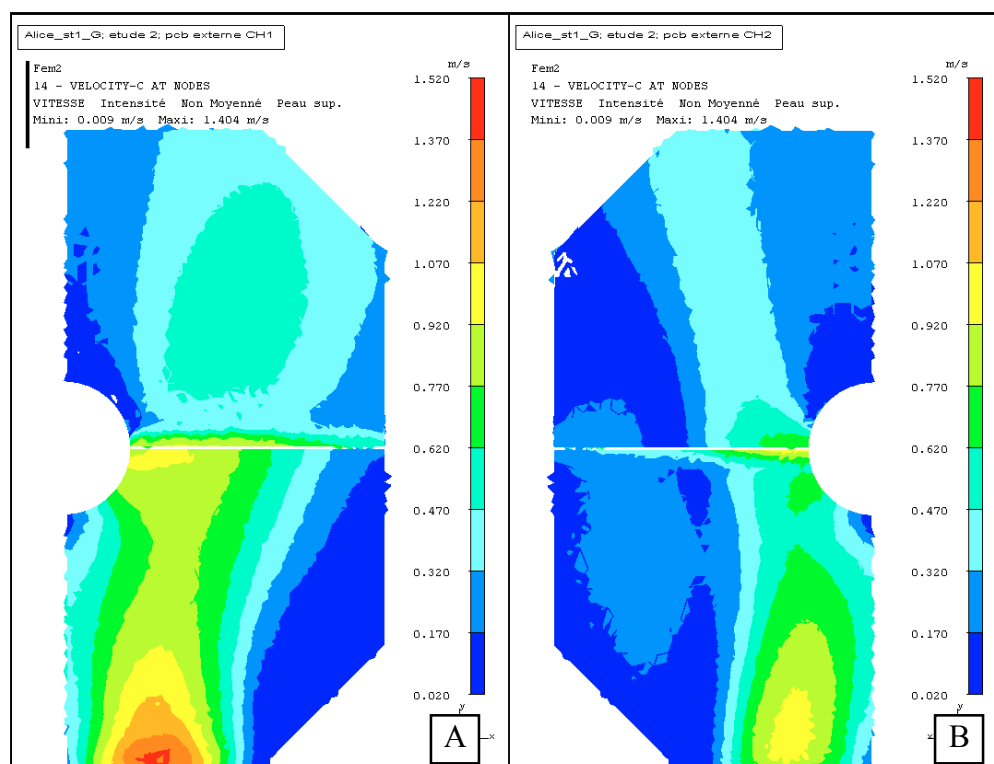


Fig. 40: Vitesse de l'air près des circuits imprimés plans externes: [A] CH1, [B] CH2.

- une différence dans la répartition des champs de vitesses entre CH1 et CH2 (Fig. 40), ceci est dû à la position relative des chambres par rapport aux bouches d'entrées d'air et de l'arrangement en "quinconce" des quarts de chambre.

Cette dernière remarque s'applique aussi aux plans internes de CH1 et CH2 avec un effet moins marqué (Fig. 41).

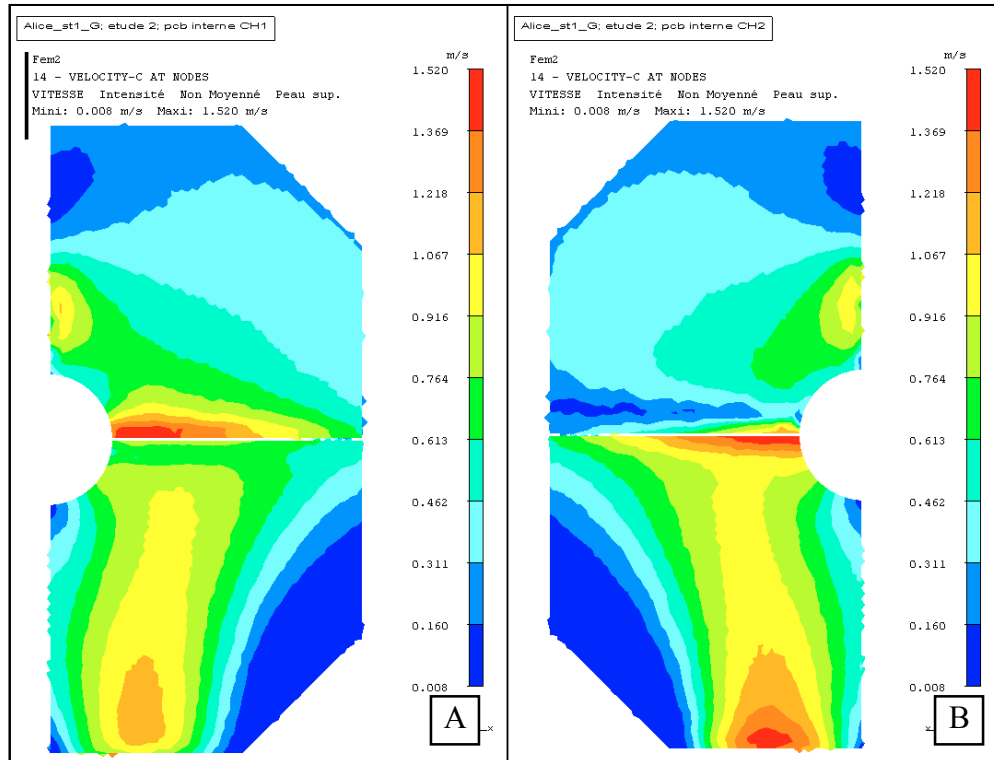


Fig. 41: Vitesse de l'air près des circuits imprimés plans internes: [A] CH1, [B] CH2.

5. Conclusions.

Les différentes simulations ont montré que les températures moyennes de l'air étaient passées de 65°C à 38°C en écartant les chambres 1 et 2 de 40mm et en ajoutant une bouche de sortie d'air entre les chambres dans le quadrant supérieur.

Pour autant, l'écoulement de l'air sur les plans des circuits imprimés doit être maîtrisé en terme de gradient et de vitesse. Cette dernière devant être suffisante pour pouvoir extraire la puissance générée par les circuits électronique pour un fonctionnement optimum.

6. Note.

Cet effet de sillage peut devenir instable (effet Bénard -Von Karman) [4].

Les calculs réalisés ici, valables pour l'aspect thermique en régime établi, représentent des valeurs moyennes en terme de vortex (tourbillons). Dans un autre contexte une modélisation correcte des instabilités demanderait des calculs en régime transitoire et éventuellement des études de couplage fluide-structures.

7. Références

[1] "Dimuon Forward Spectrometer" Alice Technical Design Report 5, CERN/LHCC 9922 (1999) et "Addendum 1" CERN LHCC,2000-046 (2000).

[2] Alain Tournaire, "Minutes of Muon Tracking cooling meeting held at Orsay on 18th October 2002". Alidim58 20/11/2002.

[3] I-DEAS, Société EDS Unigraphics Solutions France.

[4] "Hydrodynamique Physique" E.Guyon, JP. Hulin, L.Petit, EDPSciences/CNRS Edition.

8. Remerciements.

L'auteur tient à remercier Joel Pouthas et Jean Peyré pour ce travail qu'ils lui ont confié, Christine Le Galliard pour son aide et sa collaboration, ainsi que Yves Lebornec responsable du projet Alice pour l'IPNO.